

Дрянная подготовка к ПАХТу.

1 вопрос. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера.

Согласно основному принципу статики, сумма проекций на оси координат всех сил, действующих на элементарный объем, находящийся в равновесии, равна нулю. В противном случае происходило бы движение жидкости. Таким образом, условия равновесия элементарного объема параллелепипеда выражаются системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{dp}{dx} &= 0 \\ -\frac{dp}{dy} &= 0 \\ -\rho g - \frac{dp}{dz} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

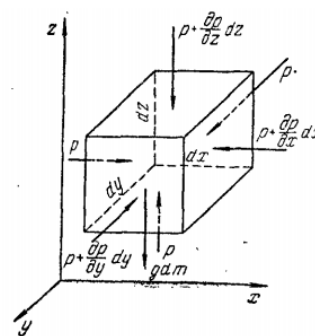


Рис. 11-2. К выводу дифференциальных уравнений равновесия Эйлера.

И представляют собой дифференциальные уравнения равновесия Эйлера. Интегралом этих уравнений является основное уравнение гидростатики.

2 вопрос. Основное уравнение гидростатики. Уравнение Паскаля.

Проинтегрировав уравнения равновесия Эйлера и упростив полученный результат получим

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const, или}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g}, \text{ для двух горизонтальных плоскостей}$$

Эти уравнения являются **основными уравнениями гидростатики**. Член z в уравнении гидростатики, представляющий собой высоту расположения данной точки надо произвольно выбранной плоскостью сравнения, называется **нивелирной высотой**. Величину $\frac{p}{\rho g}$ называют напором давления, или **пьезометрическим напором**.

Следовательно, согласно основному уравнению гидростатики, для каждой точки покоящейся жидкости сумма нивелирной высоты и пьезометрического напора есть величина постоянная. Также эти члены имеют определенный энергетический смысл. Нивелирная высота или геометрический напор, характеризует удельную потенциальную энергию положения данной точки над выбранной плоскостью, а пьезометрический напор – удельную потенциальную энергию давления в этой точке. *Основное уравнение гидростатики – частный случай закона сохранения энергии (удельная потенциальная энергия во всех точках покоящейся жидкости – величина постоянная).* Основное уравнение гидростатики можно записать по-другому: $p = p_0 + \rho g \Delta h$. Такое уравнение является выражением закона Паскаля, согласно которому давление, создаваемое в любой точке покоящейся несжимаемой жидкости, передается одинаково всем точкам ее объема.

3 вопрос. Некоторые практические приложения основного уравнения гидростатики.

Основное уравнение гидростатики, выражаемое часто в виде закона Паскаля, имеет ряд важных практических приложений.

- Принцип сообщающихся сосудов: в открытых или закрытых находящихся под одинаковым давлением сообщающихся сосудах, заполненных однородной жидкостью, уровни ее располагаются на одной высоте независимо от формы и поперечного сечения сосудов (Водомерное стекло). Также, в сообщающихся

сосудах, высоты уровней разнородных жидкостей над поверхностью их раздела обратно пропорциональны плотностям этих жидкостей.

- Если давление над уровнем жидкости в сообщающихся сосудах разное, то разность уровней жидкостей прямо пропорционально зависит от разности давлений (U-образный дифф. манометр)
- Также условия равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах используют для определения высоты гидравлического затвора в различных аппаратах.

4 вопрос. Передавливание (перекачивание) жидкостей давлением газа или вакуумом.

5 вопрос. Закон трения Ньютона. Коэффициенты вязкости. Влияние давления и температуры на вязкость.

Свойство жидкости оказывать сопротивление усилиям, вызывающим относительное перемещение его частиц, называется вязкостью. Возникающая внутри жидкости сила сопротивления равна приложенной силе T и направлена в противоположную сторону. Отношение этой силы к поверхности соприкосновения слоев обозначают через τ и называют напряжением внутреннего трения (сдвига).

$$\tau = -\mu \frac{dw}{dn}, \text{ где } -\frac{dw}{dn} - \text{градиент скорости (всегда отрицателен)}$$

Это закон внутреннего трения Ньютона, согласно которому напряжение внутреннего трения, возникающее между слоями жидкости при ее течении, прямо пропорционально градиенту скорости. μ – динамический коэффициент вязкости ($[\mu] = \left[\frac{\text{н*сек}}{\text{м}^2} \right]$). ν – кинематический коэффициент вязкости ($[\nu] = \left[\frac{\text{м}^2}{\text{сек}} \right]$). Вязкость капельных жидкостей падает с повышением температуры (взаимодействие между молекулами), вязкость капельных газов повышается с повышением температуры (молекулярно-кинетическая природа вязкости). При умеренном давлении вязкость газов не изменится до определенного давления. Ньютоновские жидкости подчиняются закону внутреннего трения.

6 вопрос. Неньютоновские жидкости.

Ньютоновские жидкости – не подчиняются закону Ньютона. Вязкость неньютоновских жидкостей при данных t и p не остается постоянной, а изменяется в зависимости от скорости сдвига или градиента скорости.

1. Вязкие неньютоновские жидкости

$$\frac{dw}{dn} = f(\tau) \text{ не зависит от времени}$$

- а) Бингамовские пластичные, при малых τ несколько деформируются и начинают течь при повышении τ до предела текучести, после него текут подобно ньютоновским жидкостям $\mu \frac{dw}{dn} = \tau - \tau_0$
- б) Псевдопластичные жидкости, начинают течь как ньютоновские при $\tau = k \left(\frac{dw}{dn} \right)^m$, где k – мера консистенции жидкости, m – индекс течения, чем меньше тем более неньютоновская жидкость.
- в) Дилатантные жидкости с увеличением $\frac{dw}{dn}$ увеличивается μ , $m > 1$

2. Зависимость $\frac{dw}{dn} = f(\tau)$ – зависит от времени

- а) Тиксотропные жидкости. С увеличением продолжительности сдвига текучесть увеличивается, после снятия напряжения перестает течь
- б) Реопексные жидкости. Текучесть уменьшается с увеличением продолжительности сдвига.

3. Вязкоупругие (максвелловские) текут при τ , но после снятия восстанавливают форму подобно твердому телу.

7 вопрос. Режимы течения потоков. Критерии Рейнольдса Re . Профили скоростей потоков при различных режимах. Средняя скорость.

Движение, при котором частицы жидкости движутся по параллельным траекториям, называется ламинарным, а неупорядоченное и с пересекающимися траекториям, называется турбулентным. В турбулентном потоке происходит пульсация скоростей. Опыт показывает, что переход от ламинарного к турбулентному происходит тем легче, чем больше массовая скорость жидкости ρW и диаметр трубы d и чем меньше вязкость жидкости. $Re = \frac{\rho W d}{\mu}$ – мера соотношения между силами вязкости и инерции в движущем потоке. Переход от ламинарного к турбулентному характеризуется критическими значениями $Re_{кр}$. $Re < 2320$ – область устойчивого ламинарного режима. $2320 < Re < 10000$ неустойчиво турбулентный (переходный). $Re > 10000$ устойчивый турбулентный (развитый). В выражение для критерия Рейнольдса входит ср. скорость потока $w = V/S$. Действительные скорости жидкостей неодинаковы в различных точках сечения трубопровода.

8 вопрос. Режимы потока в изогнутых трубах, в трубах не круглого сечения. Эквивалентный диаметр.

При движении жидкости через площадь поперечного сечения, отличного от 0, в качестве расчетного линейного размера принимают эквивалентный диаметр для круглых труб $d_3 = 4S/\pi$. Эквивалентный диаметр = диаметр гипотетического трубопровода круглого сечения, для которого отношение S к смоченному периметру π то же, что и для данного трубопровода некруглого сечения. Для прямоугольных каналов $d_3 = 2ab/(a+b)$, для клапана кольцевого поперечного сечения $d_3 = d_n - d_b$.

Установившийся (стационарный) поток – скорость частиц потока, а также плотность, t , ρ не изменяются во времени. Расходы жидкости постоянны во времени. При таком движении любой параметр может иметь различные значения в разных точках, но в любой точке не изменится со временем. $\frac{dw_x}{dt} \neq 0$ в непрерывных процессах.

Неустановившийся поток – факторы меняются со временем. $\frac{dw_x}{dt} \neq 0$ в периодических процессах

9 вопрос. Уравнение расхода и уравнение неразрывности (сплошности) потока.

Установим общую зависимость между скоростями в потоке жидкостей, для которого соблюдается условие сплошности или неразрывности движения, т.е. не образует пустот, не заполненных жидкостью. Выделим внутри потока элементарный параллелепипед, объемом $dv = dx dy dz$, ребра которого ориентированы параллельно осям координат. Пусть составляющая скорости потока вдоль оси x в точках, лежащих на левой грани параллелепипеда площадью $ds = dy dz$, равна w_x . Тогда, через эту грань в параллелепипед войдет вдоль оси x за единицу времени масса жидкости $\rho w_x dy dz$, а за промежуток времени dt – масса жидкости. $M_x = \rho w_x dy dz dt$. На противоположной стороне параллелепипеда скорость и плотность могут отличаться от соответствующих на левой грани. Получается, приращение массы жидкости в параллелепипеде: $dM_x = M_x - M_{x+dx} = -\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} dx dy dz dt$. Таким образом общее накопление массы жидкости в параллелепипеде за время dt равно сумме приращений вдоль всех осей координат: $dM = -\left[\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z}\right] dx dy dz dt$, но изменение массы в полностью заполненном жидкостью параллелепипеде возможно только вследствие изменения плотности жидкости. Поэтому: $dM = \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz dt$, приравниваем два уравнения, переносим все в одну сторону и получаем $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$, или дифференциальное уравнение неразрывности потока для неустановившегося движения сжимаемой жидкости. В установившемся потоке плотность не изменяется во времени и, следовательно $\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$. Для каплевых жидкостей, которые практически несжимаемы $\rho = \text{const}$ и $\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0$. Перейдем от дифференциальной формы к интегральной. Если площадь сечения трубопровода не изменялась, то, интегрируя, получим

$\rho w = \text{const}$. Если S переменна, получим $\rho w S = \text{const}$. Это и есть уравнение неразрывности (сплощности) потока в его интегральной форме для установившегося движения или уравнение постоянного расхода. Согласно ему, при установившемся движении жидкости, полностью заполняющей трубопровод, через каждое его поперечное сечение проходит в единицу времени одна и та же масса жидкости.

10 вопрос. Уравнение Бернулли (для идеальной и реальной жидкости)

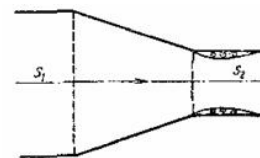
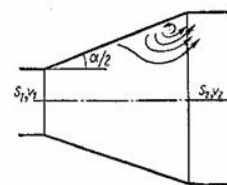
$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const}$$

- для всех поперечных сечений установившегося потока идеальной жидкости гидродинамический поток остаётся неизменным - уравнение Бернулли для идеальной жидкости, получается решением уравнений Эйлера для установившегося потока жидкости. Сумму в левой части уравнения называют полным гидродинамическим напором. Первые два слагаемых – статический напор, последнее – динамический напор. Таким образом, уравнение Бернулли является частным случаем закона сохранения энергии и выражает энергетический баланс потока. При движении реальных жидкостей начинают действовать силы внутреннего и внешнего трения слоев жидкостей. Поэтому в уравнении Бернулли вводят слагаемое потерь напора, которое характеризует удельную энергию, расходуемую на преодоление гидравлического сопротивления при движении реальной жидкости:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_n$$

11 вопрос. Работа диффузора и конфузора

1. Диффузор – преобразователь скоростного (динамического) напора в статический. За счет плавного увеличения площади сечения, согласно уравнению Бернулли, кинетическая часть энергии напора переходит в потенциальную (практически отсутствует трение о стенки конуса при ламинарном течении жидкости)
2. Конфузор – преобразователь статического напора в динамический. Принцип работы диаметрально противоположен принципу работы диффузора. За счет плавного уменьшения площади сечения, согласно уравнению Бернулли, потенциальная часть энергии напора переходит в кинетическую (практически отсутствует отлипание жидкости от стенок конуса при ламинарном течении жидкости)

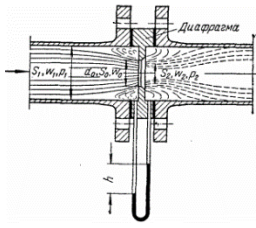


12 вопрос. Истечение жидкости через отверстие.

Определим расход жидкости при ее истечении через круглое отверстие в тонком днище открытого сосуда, в котором поддерживается постоянный уровень H жидкости. Q – объемный расход жидкости: $Q = \alpha S_0 \sqrt{2gH}$, где α – коэффициент расхода и равен $\alpha = \varphi \epsilon$ (коэффициенты скорости и сжатия струи). Таким образом, расход жидкости, вытекающий через отверстие в тонком днище, зависит от высоты постоянного уровня жидкости над отверстием и от размера отверстия, но не от формы сосуда. Рассмотрим истечение жидкости из сосуда при переменном уровне жидкости с целью определения времени опорожнения сосудов. Процесс носит нестационарный характер. $dV = Q d\tau = \alpha S_0 \sqrt{2gH} d\tau$
 $dV = -S dH$. После приравнивания, упрощения и интегрирования: $\tau = \frac{2S(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\alpha S_0 \sqrt{2g}}$.
 Соответственно при полном истекании $H_2 = 0$.

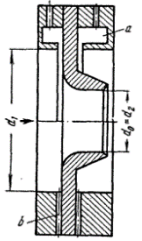
13 вопрос. Мерное сопло. Мерная диафрагма. Труба Вентури.

Данные приборы являются дроссельными, принцип действия которых основан на измерении перепада давлений при изменении поперечного сечения трубопровода.

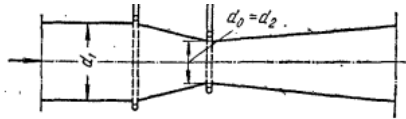


Мерная диафрагма. Представляет собой тонкий диск с отверстием круглого сечения, центр которого расположен на оси трубы.

Мерное сопло. Является насадком, имеющим плавно закругленный вход и цилиндрический выход. Диффманометры мерных сопел присоединяют к трубопроводу через кольцевые камеры, соединенные с



внутренним пространством трубопровода отверстиями или двумя каналами.



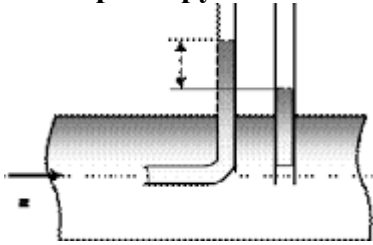
Труба Вентури. Имеет постепенно сужающееся сечение, которое затем расширяется до первоначального размера. Вследствие такой формы трубы Вентури, потеря давления в ней меньше, чем в диафрагмах или соплах.

Вместе с тем длина трубы Вентури очень велика по сравнению с толщиной диафрагмы или сопла, которые могут быть установлены между фланцами трубопровода. Объемный расход

$$Q = \frac{\alpha \pi}{4} d_0^2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{d_0}{d_1}\right)^4}} \quad \text{и} \quad w = \alpha \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 \sqrt{2gh}$$

и средняя скорость жидкости в дроссельных приборах:

14 вопрос. Трубка Пито-Прандтля.



Трубка Пито-Прандтля является пневмометрической трубкой. Является комбинацией трубки Пито (для измерения полного напора) и напорной трубки для измерения статического напора. Разница между полным и статическим давлениями потоков может быть измерена с помощью манометра и является динамическим давлением, согласно уравнению Бернулли. Соответственно, позволяет вычислить

скорость, а, следовательно, и расход жидкости в данном сечении.

15 вопрос. Определение расхода энергии на перемещение жидкости.

Таким образом, уравнение Бернулли является частным случаем закона сохранения энергии и выражает энергетический баланс потока. При движении реальных жидкостей начинают действовать силы внутреннего и внешнего трения слоев жидкостей. Поэтому в уравнении Бернулли вводят слагаемое потерь напора, которое характеризует удельную энергию, расходуемую на преодоление гидравлического сопротивления при движении реальной жидкости. Если умножить обе части уравнения на удельный вес жидкости, то уравнение

Бернулли примет следующий вид: $\rho g z_1 + p_1 + \frac{\rho w_1^2}{2} = \rho g z_2 + p_2 + \frac{\rho w_2^2}{2} + \Delta p_n$, где каждый член выражает удельную энергию отнесенную к единице объема жидкости.

16 вопрос. Выбор мощности насоса.

Общая разность давлений, необходимая для перекачивания жидкости с расходом V_1 , м³/с:

$$\Delta P_{\text{общ}} = \Delta P_{\text{под}} + \Delta P_{\text{доп}} + \Delta P_{\text{скор}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{мес.сопр.}}$$

$\Delta P_{\text{общ}}$ требуется для расчета мощности насоса, вентилятора, которые необходимо установить для обеспечения работы линии. Из термодинамики известно, что работа сил давления может быть представлена, как произведение перепада давления на объем, а работа в единицу времени (мощность) равна произведению перепада давления $\Delta P_{\text{общ}}$ на объемный расход Q , $N_{\text{теор}} = \Delta P_{\text{общ}} Q$;

Далее поправка на реальные условия – КПД и кВт:

$$N = \Delta P_{\text{общ}} * Q \eta = \rho g H Q / 1000 \eta$$

Обычно выбор двигателя делают с запасом на возможные перегрузки. Коэффициент запаса находят в справочниках. Расчет мощности компрессоров, вентиляторов высокого давления по этим формулам вести нельзя, т.к. изменяется ρ, t и расчет ведут по термодинамическим формулам.

17 вопрос. Гидравлическое сопротивление трубопроводов при ламинарном режиме (формула Гагена-Пуазейля) и при турбулентном режиме (формула Дарси-Вейсбаха). Сопротивление трения в змеевиках и трубах некруглого сечения.

Потери напора в трубопроводе в общем случае обуславливается сопротивлением трения (существует при движении реальной жидкости по всей длине трубопровода, режим течения сильно влияет) и местными сопротивлениями (возникают при любых изменениях скорости потока и его направления). В случае ламинарного движения потеря напора на трение может быть определена на основании уравнения Гагена-Пуазейля (расход жидкости при ламинарном течении по круглой прямой трубе $Q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128 \mu l}$). При ламинарном течении по прямой гладкой трубе $h_{тр} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$ причем $\lambda = \frac{64}{Re}$ и $\zeta_{тр} = \lambda \frac{l}{d}$ (коэф. сопр. трения), поэтому $\Delta p_{тр} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2}$ (формула Дарси-Вейсбаха). Уравнение того же вида может быть использовано для определения потерь напора на трение при турбулентном движении жидкости. Однако выражение для коэффициента трения в данном случае не может быть выведено теоретически из-за невозможности решения для такого потока уравнений Навье-Стокса. Поэтому расчетные уравнения получают обобщением результатов экспериментов. $E u = \frac{g h_{тр}}{w^2} = A Re^m \left(\frac{1}{d}\right)^q$ или $h_{тр} = \frac{A}{2} Re^m \left(\frac{1}{d}\right)^q \frac{w^2}{2g}$ Для каналов некруглого сечения в уравнении вместо диаметра подставляют эквивалентный диаметр, причем $\lambda = \frac{B}{Re}$ где B – коэффициент, значение которого зависит от формы поперечного сечения.

18 вопрос. Методы определения потерь давления на преодоление местных сопротивлений.

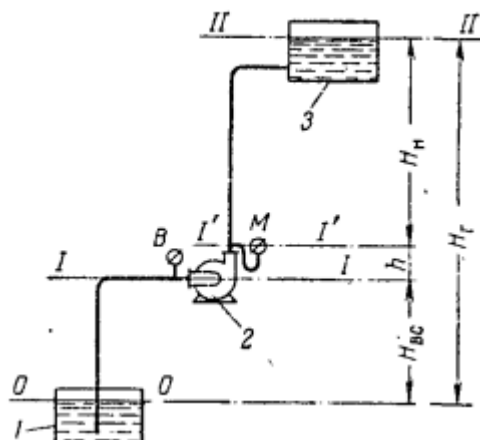
Потери напора в местных сопротивлениях, как и потери на трение, выражают через скоростной напор. Отношение потери напора $h_{м.с.}$ в данном местном сопротивлении к скоростному напору $h_{ск} = \frac{w^2}{2g}$ называют коэффициентом потерь энергии в местном сопротивлении или просто коэффициентом местного сопротивления и обозначают через $\zeta_{м.с.}$. Тогда, суммарно для всех местных сопротивлений трубопровода $h_{м.с.} = \sum \zeta_{м.с.} \frac{w^2}{2g}$. Коэффициенты различных местных сопротивлений находят опытным путем и их значения можно найти в справочной литературе.

19 вопрос. Определение напора и расхода энергии, необходимых для перемещения потока.

Из уравнения Бернулли для плоскости 0-0 и 1-1 находим удельные энергии потока на входе и выходе из насоса и, вычитая одно из другого, получаем напор насоса:

$$H = H_f + \frac{p_2 - p_0}{\rho g} + h_{\pi}$$

Напор насоса равен сумме трех слагаемых: высоты подъема жидкости в насосе, разности давлений в напорной и приемной емкостях и суммарного гидравлического сопротивления во всасывающем и нагнетательном трубопроводах. Для действующего насоса напор может быть определен как сумма показаний манометра и вакуумметра и расстояния по вертикали между точками расположения этих приборов.



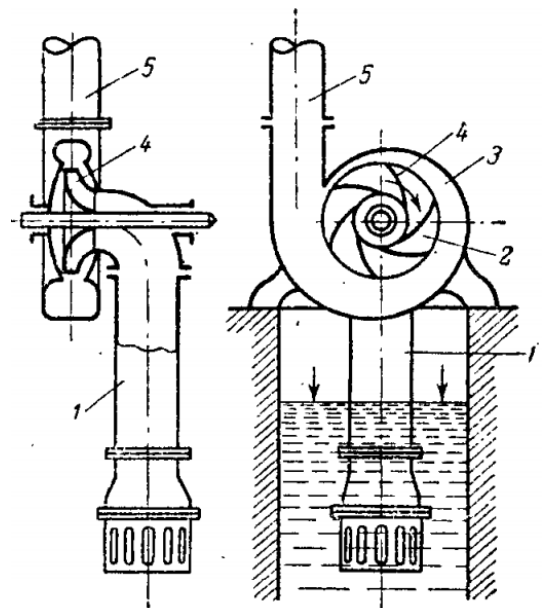
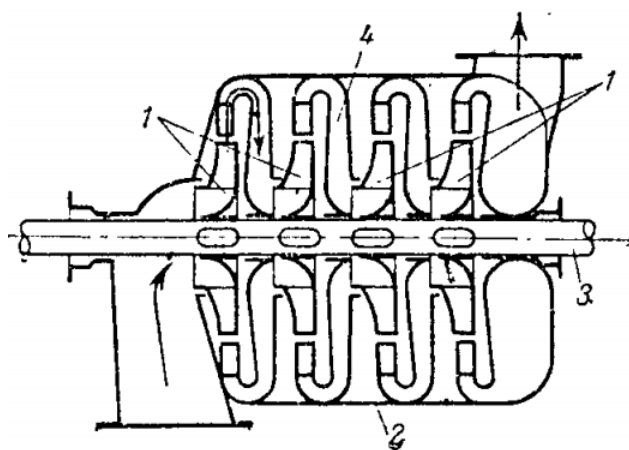
20 вопрос. Расчет диаметра трубопровода и выбор оптимальной скорости потока.

При заданной производительности диаметр трубопровода может быть вычислен из уравнения расхода: $Q = wS = w \frac{\pi d^4}{4} \rightarrow d = \sqrt[4]{4 \frac{Q}{\pi w}}$, таким образом, размер d трубопровода однозначно определяется выбором значения скорости движения жидкости. Чем больше выбрана w , тем меньше будет d , тем меньше затрат на его изготовление, конечная стоимость и обслуживание. Вместе с тем, при больших w увеличиваются потери напора, т.е. увеличивается перепад p , затраты энергии на перемещение. При оптимальном d обеспечиваются \min затраты. Исходя из технико-экономических соображений установлены рекомендуемые пределы изменения скорости жидкостей, газов и паров.

21 вопрос. Основные параметры насосов. Центробежные насосы.

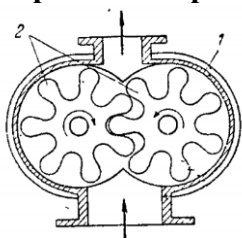
1. Производительность (подача) Q
2. Напор H (уд. энергия, передаваемая насосом)
3. Полезная мощность $N_{\text{п}} = \gamma Q H = \rho g Q H$ (затрачиваемая насосом на сообщение жидкости или газу энергии p)
4. Мощность на 1 ??? $N_e = N_{\text{п}} / \eta$
5. Коэффициент полезного действия η
6. Номинальная мощность двигателя $N_{\text{дв}} = N_{\text{п}} / \eta_{\text{общ}}$
7. Полный КПД установки $\eta_{\text{общ}} = \eta + \eta_{\text{дв}}$
8. Установочная мощность двигателя $N_{\text{уст}} = b N_{\text{дв}}$

Центробежный насос. 1 – всасывающий трубопровод, 2 – рабочее колесо, 3 – корпус, 4 – лопасти, 5 – нагнетательный трубопровод. Из 1 жидкость поступает вдоль 2 в 3, попадает на 4, приобретает вращательное движение.



Центробежная сила отбрасывает жидкость в канал. Из уравнения Бернулли: происходит преобразование кинетической энергии потока в статический напор, что обеспечивает повышение давления жидкости. На входе в колеса создается пониженное давление, и жидкость из приемной емкости непрерывно поступает в насос. Перед пуском заливают жидкостью потому как разрежение, создаваемое вращением колеса недостаточное для поднятия жидкости. *Многоступенчатые насосы.* 1 – рабочее колесо, 2 – корпус, 3 – вал, 4 – отводной канал. Жидкость выходит из первого колеса по 4 во второе колесо и так далее. Число колес не больше 5, напор насоса = напор одного колеса * количество колес.

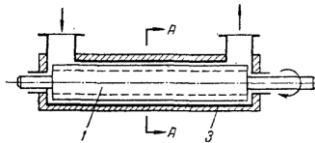
22 Вопрос. Шестеренные, винтовые и пластинчатые насосы



Шестеренные

- 1- Корпус
- 2- Шестерни (одна от эл. двигателя)

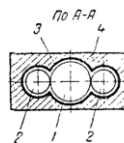
Когда зубья выходят из зацепления, образуется разрежение, под действием которого происходит всасывание жидкости



Винтовые

- 1- Ведущий винт
- 2- Ведомые винты
- 3- Обойма
- 4- Корпус

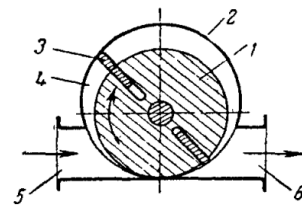
Между обоймой и винтом образуется полость, заполняемая жидкостью, при вращении винта, жидкость перемещается вдоль оси (только для агрессивных сред)



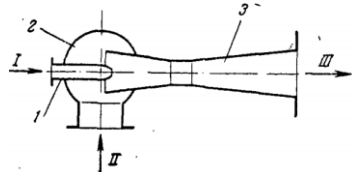
Пластинчатые

- 1- Ротор
- 2- Корпус
- 3- Пластины
- 4- Рабочее пространство
- 5- Всасывающий патрубок
- 6- Нагнетающий патрубок

Пластины под действием центробежной силы изменяют объем в каждой части рабочей зоны, поэтому создается и разрежение, и нагнетание, происходит всасывание и одновременно вытеснение жидкости.



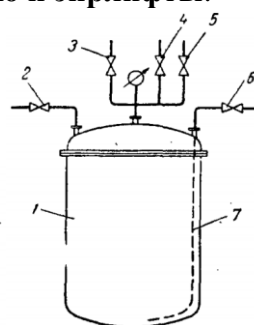
23 Вопрос. Струйные насосы, Монтежю и эрлифты.



Струйные

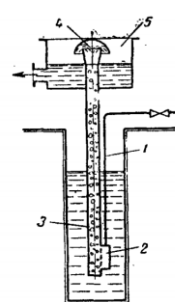
- I- Рабочая жидкость
- II- Перекачиваемая жидк.
- 1- Сопло
- 2- Корпус насоса
- 3- Диффузор

В струйных насосах для создания напора используют кинетическую энергию другой жидкости. Рабочая жидкость поступает с большой скоростью из сопла в камеру смешения и затем в диффузор, увлекая за собой за счет поверхностного трения перекачиваемую жидкость.



Монтежю

- 1- Корпус
 - 2-6- Краны
 - 3- Труба для перекачивания
- Монтежю представляет собой резервуар, в котором для перекачивания жидкости используется энергия сжатого воздуха или инертного газа. Монтежю работает периодически. Низкий КПД, но отсутствие движущихся частей, применяют для агрессивных сред.

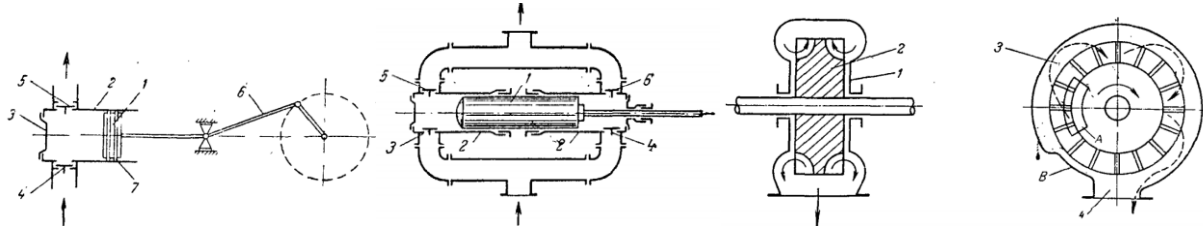


Эрлифт

- 1- Труба для подачи сжатого воздуха
- 2- Смеситель
- 3- Подъемная труба
- 4- Отбойник
- 5- Сборник

Происходит подача сжатого воздуха. В смесителе образуется газожидкостная смесь, которая поднимается на отбойник, где из смеси выделяется воздух и жидкость, которая поступает в сборник. Низкий КПД, но отсутствие движущихся частей.

24 Вопрос. Поршневые, плунжерные, вихревые насосы.

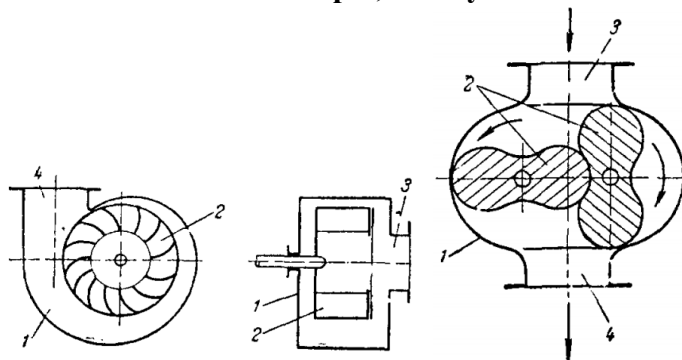


Поршневые. Происходит всасывание и нагнетание за счет возвратно-поступательного движения поршня в цилиндре насоса. При его движении в замкнутом пространстве создается разрежение. Под действием разности давлений жидкость поступает в цилиндр. Поршень приводится в движение за счет кривошипно-шатунного механизма. Необходимо использовать воздушные колпаки

Плунжерные. Плунжер тоже самое, что и поршень, но гладкий и длинный, без колец уплотнения. Из-за того, что для плунжерных насосов нет необходимости в тщательной пригонке поршня и цилиндра, их применяют для перекачивания загрязненных и вязких жидкостей, а также для создания более высоких давлений. Существуют насосы двойного и тройного действия. Необходимо использовать воздушные колпаки

Вихревые. Для передачи энергии от двигателя к жидкости и создания напора используется энергия вихревого движения жидкости, которое образуется за счет вращения рабочего колеса и, в меньшей степени, центробежных сил. Резкое возрастание напора и потребляемой мощности происходит с уменьшением производительности. Возможны конструкции с самовсасыванием жидкости.

25 Вопрос. Перемещение газов. Вентиляторы, газодувки.



Вентиляторы. Делятся на низкого среднего и высокого давления. Газ поступает по всасывающему патрубку, попадает в корпус, приобретает вращательное движение. Центробежная сила отбрасывает газ в канал. Из уравнения Бернулли: происходит преобразование кинетической энергии потока в статический напор, что обеспечивает повышение давления газа. Форма и размер рабочего колеса и лопаток регулирует давление, создаваемое насосом.

Газодувки. В корпусе два поршня, один подключен к электродвигателю и связан со вторым зубчатой передачей, при вращении поршни плотно прилегают один к другому и к стенкам корпуса, образуя 2 камеры: всасывания и нагнетания. При поступлении газ сжимается и выталкивается в напорный патрубок.

26 Вопрос. Методы разделения и классификации неоднородных систем.

Неоднородные систем – из 2-х или нескольких фаз (дисперсная фаза + дисперсная среда)

- Суспензии (жидкость и взвешенные твердые частицы)

- Эмульсии (жидкость и капли другой жидкости)
- Пены (жидкость и пузырьки газа)
- Пыли и дым (Газ и частицы твердого вещества)
- Туманы (газ и жидкость)

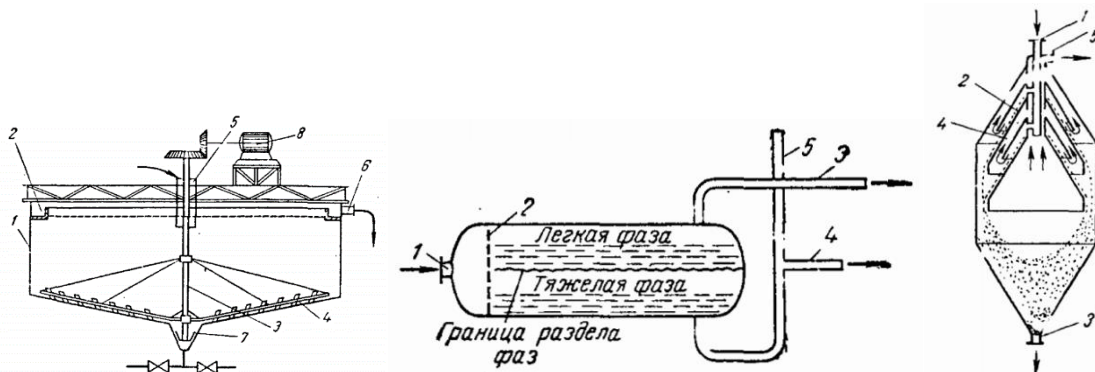
Методы разделения неоднородных систем:

- Осаждение (под действием сил тяжести (отстаивание), инерционных сил или электростатических взаимодействий)
- Фильтрация (с помощью пористого материала, способного задерживать дисперсную среду)
- Центрифугирование (в поле центробежных сил)
- Мокрое разделение (улавливание частиц (нейтрализация) жидкостями или парами под действием сил тяжести, инерции или других физико-химических свойств)

27 Вопрос. Скорость осаждения частиц. Формула Стокса.

Формула Стокса – формула скорости оседания частиц в жидкости: Если частицы падают в вязкой жидкости под действием собственного веса, то установившаяся скорость достигается, когда эта сила трения совместно с силой Архимеда точно уравниваются силой гравитации. $w_{ос} = \frac{d^2 g (\rho' - \rho_{ж})}{18\mu}$, μ – динамическая вязкость жидкости, ρ' – плотность частиц.

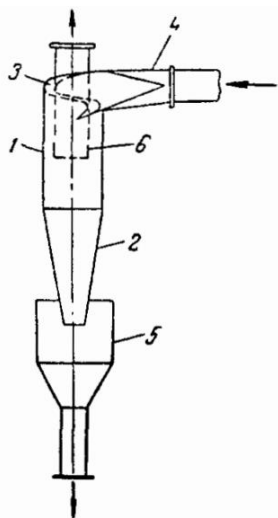
28 Вопрос. Отстойники непрерывного действия для разделения жидких неоднородных систем. Расчет отстойников.



<p>Невысокий цилиндрический резервуар с плоским, слегка коническим днищем. В нем установлена мешалка с наклонными лопастями на которых имеются гребки для непрерывного перемешивания. Исходная суспензия подается по центральной трубе, а осветленная жидкость переливается через край резервуара в желоб и удаляется. Выгрузка осадка в центре аппарата. Уходит большое количество жидкости с осадком.</p>	<p>Для разделення эмульсий. Поперечное сечение выбирают, чтобы достичь ламинарного тока жидкостей. В аппарате происходит расслаивание эмульсий и удаление разных фаз через разные патрубки. Имеется устройство для разрыва сифона в случае полного опорожнения резервуара.</p>	<p>С коническими полками. Суспензия подается внутрь аппарата и распределяется по каналам между коническими полками, на поверхности которых происходит осаждение твердых частиц. Осветленная жидкость отводится по каналам между двумя вышележащими полками и выводится из аппарата. Отсутствие движущихся частей и простота обслуживания.</p>
---	--	---

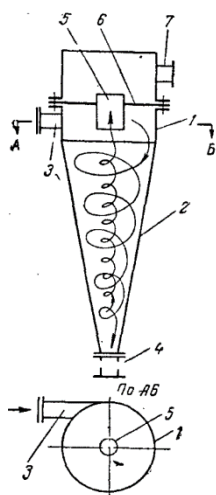
Производительность отстойника не зависит от его высоты, а зависит от скорости осаждения частиц и поверхности осаждения. Именно исходя из этих параметров производят расчет отстойников.

29 Вопрос. Осаждение под действием центробежных сил в циклонах. Устройство циклонов.

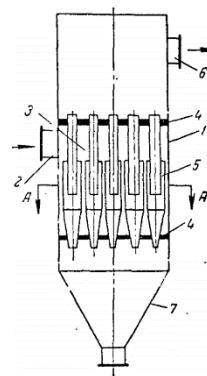


Запыленный газ поступает тангенциально со значительной скоростью в верхнюю часть циклона. В корпусе поток запыленного газа движется вниз по спирали вдоль внутренней поверхности стенок циклона. При таком вращательном движении частицы пыли как более тяжелые, перемещаются в направлении действия центробежной силы быстрее чем частицы газа, концентрируются в слоях газа у стенок и переносятся потоком в пылесборник. Пыль оседает, а очищенный газ поднимается по спирали и удаляется через выхлопную трубу. Движение частиц пыли в циклоне обусловлено в основном вращательным движением, поэтому их можно устанавливать горизонтально или наклонно. Теоретический расчет циклонов сложен, поэтому их рассчитывают по гидравлическому сопротивлению аппарата.

30 Вопрос. Батарейные циклоны и гидроциклоны.



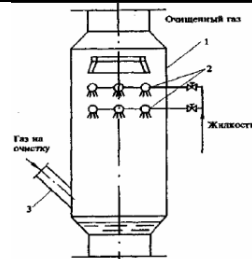
Гидроциклон. Разделение жидких неоднородных систем в поле действия центробежных сил без вращающихся частей. Корпус аппарата состоит из тангенциального патрубка, конической и цилиндрической частей корпуса, слива и штуцера для отвода осветленной жидкости. Под действием центробежных сил, тяжелые частицы отбрасываются на стенки аппарата и спускаются по конической части по спиральной траектории вниз, откуда выводятся в виде сгущенной суспензии. Вследствие значительных окружных скоростей потока вдоль оси гидроциклона образуется воздушный столб, давление в котором ниже атмосферного. Он оказывает значительное влияние на разделяющее действие гидроциклона. Достоинства: отсутствие движущихся частей, высокая производительность, компактность, простота и легкость обслуживания, широкая область применения (сгустители, классификаторы, осветлители). Батарейный циклон или мультициклоны. С уменьшением размера циклона увеличивается его степень очистки, но падает производительность. Поэтому можно объединить несколько мини циклонов в одно корпусе. Батарейные циклоны состоят из параллельно работающих циклонных элементов. Газ или жидкость равномерно распределяются по отдельным элементам циклона. Очищенный газ или жидкость удаляется, пыль собирается в коническом пылесборнике. Газ в такие циклоны поступает не тангенциально, а сверху вниз и раскручивается с помощью специальных закручивающих устройств.



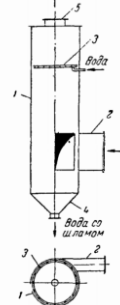
31 Вопрос. Мокрая очистка газов (Скрубберы, скрубберы Вентури, Пенные аппараты).

Для тонкой очистки газов от пыли применяют мокрую очистку газов водой или другой жидкостью. Мокрая очистка газов от пыли наиболее эффективна тогда, когда допустимы увлажнение и охлаждение очищаемого газа. Загрязненную после очистки газа жидкость затем отправляют на отстойники для осветления и повторного использования. Главный недостаток – образование большого объема сточных вод. Разделяют

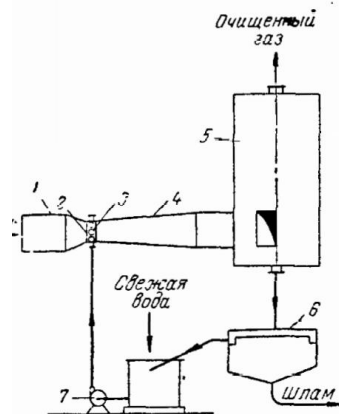
Полый скруббер. Простейшая система очистки газов жидкостью. Запыленный газ движется через скруббер и орошается водой, при этом все поперечное сечение скруббера перекрывается распыляемой жидкостью



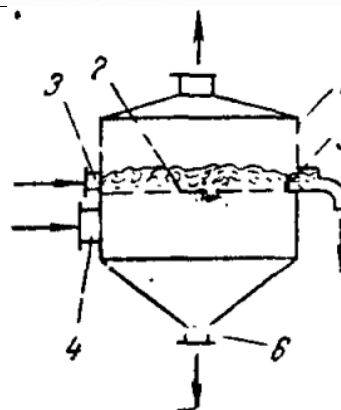
Скруббер центробежный. Принципиальное отличие состоит в том, что газ подается в корпус аппарата тангенциально, а значит процесс интенсифицируется, так как проходит в поле центробежных сил. Жидкость же не орошает газ, а стекает тонкой пленкой по стенкам аппарата



Скруббер Вентури. Высокоэффективный струйный турбулентный газопромыватель. Запыленный газ поступает через конфузور в горловину, где ускоряется. Также в горловину вводится жидкость, которая, сталкиваясь с газовым потоком, распыляется на мелкие капли. Капли улавливают на себе пыль и, проходя через диффузор, замедляются и попадают в циклонный сепаратор, где газ разделяется с загрязненной жидкостью.



Барботажный (пенный) пылеуловитель. Для очистки сильно загрязненных газов. Жидкость взаимодействует с газом и приводится в состояние подвижной пены, что обеспечивает большую поверхность контакта между жидкостью и газом. На перфорированной тарелке находится жидкость, через которую барботируется газ, образуется пена и происходит высокоэффективная (до 99%) очистка.



32 Вопрос. Принципиальная схема электроочистки. Электрофилтры.

Очистка электричеством основана на ионизации молекул газа электрическим разрядом. Газ помещается в поле образованное двумя электродами, коронирующим(+) и осадительным(-). Уже ионизированные частицы при столкновении с нейтральными ионизируют их, количество ионов растет по экспоненте, ударная ионизация. Также электроды исполняются таким образом, чтобы избежать пробегания искр в полностью ионизированном газе и исключить короткое замыкание. Электроды периодически встряхиваются чтобы увеличить эффективность очистки. Делятся на сухие и мокрые, на трубчатые и пластинчатые.

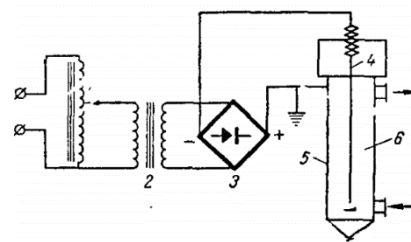
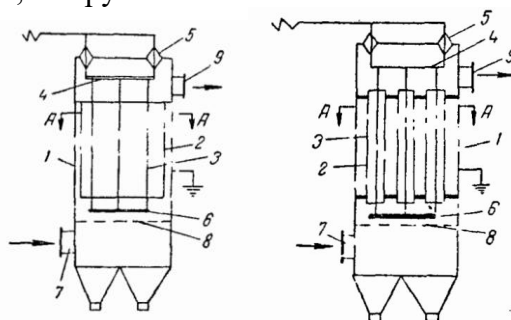


Рис. V-51. Принципиальная схема установки для электрической очистки газов:



Пластинчатые.	Трубчатые
Между параллельными поверхностями осадительных электродов подвешены коронирующие электроды из нихромовой проволоки. Легче удаляется осевшая пыль и меньше расходуется энергии на ед. длины проводов, более компактны, меньший расход металла и простота монтажа.	Осадительные электроды выполнены из труб, по оси труб натянуты коронирующие электроды из проволоки. Позволяют получить большую напряженность электрического поля и соответственно допускают большие скорости газа, т.е. более производительны, степень очистки выше.

33 Вопрос. Методы фильтрования. Свойства фильтруемых осадков. Классификация фильтрующих материалов.

Фильтрование — процесс разделения суспензий с использованием пористых перегородок, которые задерживают твердую фазу суспензии и пропускают ее жидкую фазу. Создается разность давлений с разных сторон от фильтровальной перегородки, за счет чего жидкость проходит сквозь нее, а твердые частицы задерживаются на перегородке. Различают фильтрование с образованием осадка, фильтрование с закупориванием пор и промежуточный тип фильтрования. Также различают фильтрование при постоянной разности давлений, при постоянной скорости и при переменных разности давлений и скорости. Осадки подразделяют на сжимаемые, пористость которых снижается а гидравлическое сопротивление возрастает с увеличением разности давлений, и несжимаемые, в которых пористость не уменьшается при увеличении разности давлений. Фильтровальные перегородки делятся на поверхностные, в которых частицы в основном скапливаются на поверхности, а не проникают в поры, и глубинные, которые чаще применяются для осветления жидкостей, частицы проникают и

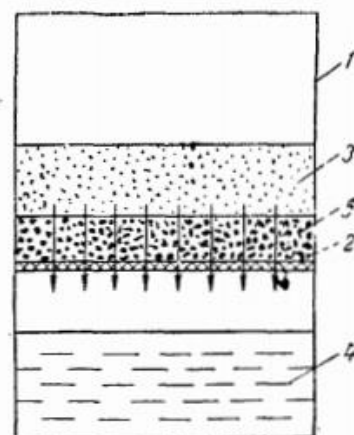


Рис. V-9. Схема процесса фильтрования:

1 — фильтр; 2 — фильтровальная перегородка; 3 — суспензия; 4 — фильтрат; 5 — осадок

задерживаются там. Также перегородки классифицируются по материалу из которого они изготовлены. Перегородки делят на гибкие (металлы и их сплавы, полимерные, волокнистые и синтетические материалы), негибкие (хрупкие неорганические материалы, кремнь, уголь, некоторые сплавы), жесткие (твердые хрупкие неорганические материалы) и нежесткие (нетвердые хрупкие неорганические материалы).

34 Вопрос. Основное уравнение фильтрации. Определение константы фильтрации

Основное дифференциальное уравнение фильтрования $\frac{dV}{Sd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_{oc} + R_{фп})}$, где V – объем фильтрата, S – поверхность фильтрования, τ – время фильтрования, Δp – разность давлений, μ – вязкость жидкой фазы суспензии, R_{oc} – сопротивление слоя осадка, $R_{фп}$ – сопротивление фильтровальной перегородки. После некоторых упрощений уравнение начинает выглядеть

вот так $\frac{dV}{Sd\tau} = W = \frac{\Delta p}{\mu(r_0 x_0 \frac{V}{S} + R_{фп})}$, где r_0 и x_0 – соответственно, сопротивление потоку жидкой фазы равномерным слоем осадка толщиной один метр и отношение объема осадка к объему полученного фильтрата. Рассмотрим три проинтегрированные формы этого уравнения,

которые более практичны. $V^2 + 2 \frac{R_{фп} S}{r_0 x_0} V = 2 \frac{\Delta p S^2}{\mu r_0 x_0} \tau$ уравнение фильтрования при постоянной разности давлений,

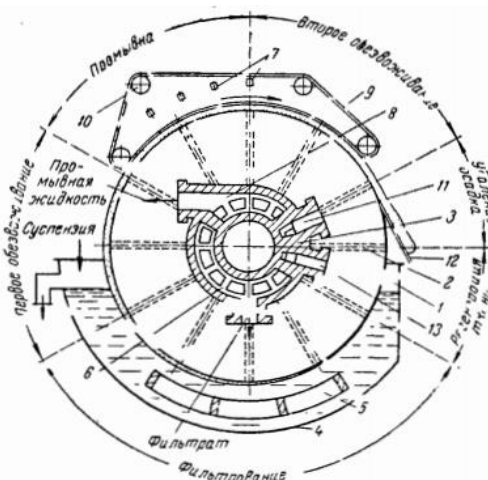
$\Delta p = \mu r_0 x_0 W^2 \tau + \mu R_{фп} W$ уравнение фильтрования при постоянной скорости процесса и

$V = \frac{\Delta p S}{\mu(r_0 h_{oc} + R_{фп})} \cdot \tau$ уравнение фильтрования при постоянных разности давлений и скорости процесса. Под постоянными в этих уравнениях понимают $R_{фп}$, r_0 и x_0 . Возьмем допустим уравнение при постоянной разности давлений и преобразуем его к такому виду: $\frac{\tau}{V} = MV + N$, где $M = \frac{\mu r_0 x_0}{2 \Delta p S^2}$, а $N = \frac{\mu R_{фп}}{\Delta p S}$.

Можно заметить, что при постоянных температуре и разности давлений это – уравнение прямой линии, где тангенс это M, а отрезок отсекаемы на y – N. Построив на основе данных эксперимента данный график, можно найти значения N и M и найти $R_{фп}$, r_0 , в то время как x_0 определяется непосредственным измерением объемов осадка и фильтрата.

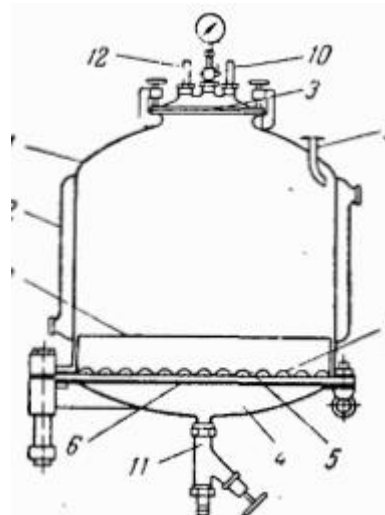
35 Вопрос. Барабанный вакуум-фильтр

Аппарат непрерывного действия, работает под вакуумом. Состоит из горизонтального перфорированного барабана, покрытого фильтровальной тканью. Погружен в суспензию на 30-40%. Поверхность фильтрования разделена образующими на прямоугольные ячейки. При движении каждая ячейка последовательно присоединяется к источнику сжатого воздуха. Весь процесс фильтрования состоит в том, что барабан вращается и каждая ячейка проходит через 6 стадий: фильтрование, обезвоживание, промывка, вторичное обезвоживание и сброс осадка и регенерация полотна. Достоинства фильтра: непрерывность процесса, удобство обслуживания, благоприятные условия промывки осадка. Недостатки: высокая стоимость, низкая площадь фильтрования.



36 Вопрос. Нутч-фильтр и фильтрпресс

Нутч-фильтр представляет собой наиболее простой фильтр периодического действия, работающий под вакуумом или давлением, с совпадающими направлениями силы тяжести и движением фильтрата. Нутч-фильтр под вакуумом является просто большой колбой Бунзера с воронкой Бюхнера. Нутч работающий под давлением работает в большинстве своем также, за исключением конструктивных особенностей в виде крышки и фильтрующего полотна почти на дне аппарата. Достоинством всех нутчей является возможность равномерной и полной промывки осадка, поскольку промывная жидкость может быть равномерно распределена по всей его поверхности. Недостаток – большие габариты. Поэтому был придуман фильтрпресс – аппарат периодического действия, представляющий собой ряд нутчей небольшой высоты, размещенных вертикально вплотную один к другому, в результате чего достигается большая поверхность фильтрования, отнесенная к единице производственной площади. Состоит из чередующихся плит и рам. Рама и две плиты образуют два небольших нутча. Советую посмотреть видос как работает фильтр пресс и все потом по памяти рассказать.

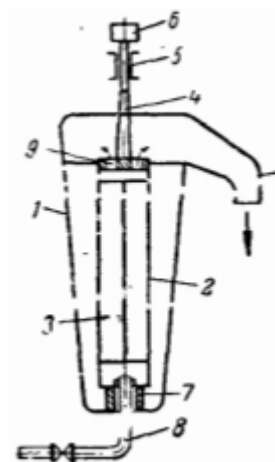


37 Вопрос. Центрифугирование. Принцип действия и устройства отстойных и фильтрующих центрифуг.

Под центрифугированием понимают процесс разделения неоднородных систем в поле центробежных сил, проводимые в машинах – центрифугах. Центрифуга представляет собой в простейшем виде вертикальный цилиндрический ротор со сплошными или перфорированными боковыми стенками. Ротор укрепляется на валу, который приводится в вращение двигателем, и помещается в корпус с закрываемой съемной крышкой. На внутренней поверхности ротора с перфорированными стенками находится фильтровальная ткань или тонкая металлическая сетка. В отстойных центрифугах со сплошными стенками производят разделение эмульсий и суспензий по принципу отстаивания, причем действие силы тяжести заменяется действием центробежной силы. В фильтрующих центрифугах осуществляют процесс разделения суспензий методом фильтрования, причем вместо разности давлений используется действие центробежной силы.

38 Вопрос. Трубчатые сверхцентрифуги.

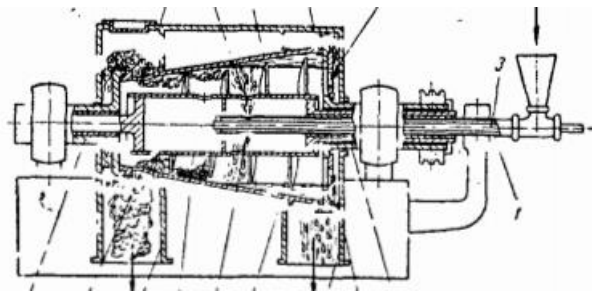
Имеют ротор небольшого диаметра, вращающийся с большой скоростью, что позволяет получать высокий фактор разделения (до 15000) и разделять тонкодисперсные системы. Высота из в несколько раз превосходит диаметр для лучшего разделения. Осадок содержит минимальное количество влаги, потому что происходит уплотнение осадка при высоких значениях фактора разделения. Возможно герметичное исполнение, подходит для разделения суспензий с низким содержанием твердой фазы и эмульсий. Состоит из конусного кожуха, ротора с лопастями. При движении жидкости в роторе вверх твердые частицы оседают на стенках, а осветленная жидкость отводится через патрубок.



39 Вопрос. Шнековые центрифуги непрерывного действия.

Рассмотрим нормальную отстойную центрифугу непрерывного действия с горизонтальным ротором. Суспензия подается внутрь аппарата между коническим ротором со сплошными стенками и цилиндрическим основанием шнека. Ротор и шнек вращаются в одном

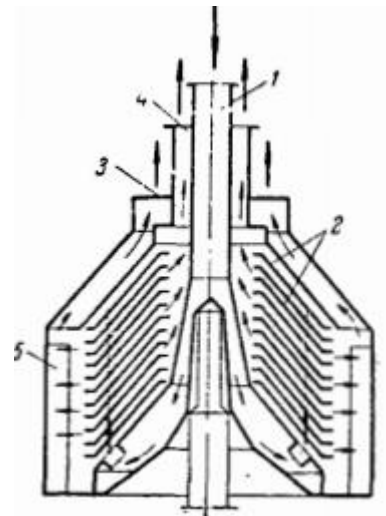
направлении, причем шнек вращается чуть медленнее. Под действием центробежной силы твердые частицы отбрасываются к стенкам ротора и в виде осадка медленно перемещаются (из-за разной скорости вращения шнека и ротора) к отверстию для выгрузки. Такие центрифуги



характеризуются высокой производительностью и применяются для разделения тонкодисперсных суспензий с большой концентрацией твердой фазы. Недостатки: высокий расход энергии и заметное измельчение осадка.

40 Вопрос. Особенности тонкослойного разделения в тарельчатых сепараторах. Сепараторы для разделения эмульсий и суспензий.

Являются отстойными сверхцентрифугами непрерывного действия с вертикальным ротором. Имеют ротор небольшого диаметра, зато большую скорость вращения. Эмульсия подается по центральной трубе в нижнюю часть сепаратора, откуда через отверстия в тарелках распределяется тонкими слоями между ними. Более тяжелая жидкость отбрасывается к периферии ротора и отводится через внешнюю трубу. Легкая жидкость перемещается к центру ротора и отводится через кольцевой канал. Для того, чтобы жидкость не отставала от ротора, на нем имеются специальные выступы, а на тарелках выступы. Примером таких сепараторов могут служить молочные сепараторы.



41 Вопрос. Способы перемешивания в жидких средах.

Конструкции мешалок.

Перемешивание широко применяют для приготовления эмульсий, суспензий и получения гомогенных систем, а также для интенсификации химических, тепловых и диффузных процессов. Чаще всего способ и аппаратура для перемешивания определяются целью перемешивания и агрегатным состоянием материалов. Различают способы смешивания:

- Механический (мешалки)
- Пневматический (сжатый воздух или инертный газ)
- В трубопроводах
- С помощью сопел и насосов

Важными характеристиками перемешивания являются эффективность и интенсивность процесса. Наиболее распространенным способом перемешивания является механический (с помощью мешалок). Бывают различные конструкции мешалок:

- Лопастные – прямоугольные лопасти, закрепленные на роторе – простота устройства
 - Якорная – подтип лопастной – когда происходит загрязнение аппарата и низкая вязкость
 - Рамная – подтип лопастной – когда происходит загрязнение аппарата и низкая вязкость
 - Листовая мешалка - подтип лопастной – для маловязких сред и интенсификации процессов
- Пропеллерные мешалки – пропеллеры (фасонные лопасти по профилю гребного винта) – высокая скорость вращения, низкое потребление энергии.
- Турбинные мешалки – колеса водяных турбин – для гомогенизации и интенсификации, редко для перемешивания больших объемов.

42 Вопрос. Гидродинамика взвешенного слоя (порозность, скорости псевдооживления и уноса, гидравлическое сопротивление, число псевдооживления).

Аппараты с кипящим слоем используются для перемещения, смешивания, нанесения покрытий, проведения процессов обжига, сушки, адсорбции

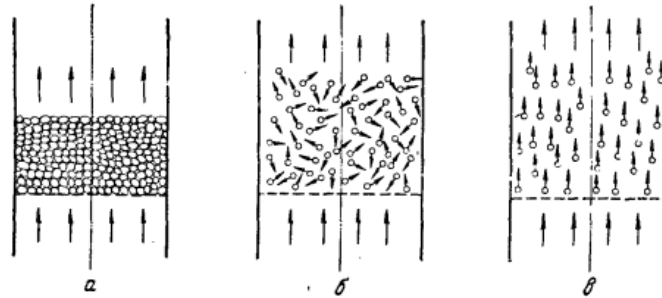


Рис. II-31. Движение газа (жидкости) через слой твердых частиц:
а — неподвижный слой; б — кипящий (псевдооживленный) слой; в — унос твердых частиц потоком.

Начало псевдооживления наступает при равенстве силы гидравлического сопротивления слоя весу всех его частиц. Порозностью называют способность материала пропускать через себя газы и жидкости. Скоростью уноса называется скорость при которой нарушается слой и происходит массовый унос частиц. Скорость псевдооживления — скорость при которой нарушается неподвижность слоя и происходит его переход в псевдооживленное состояние. Отношение рабочей скорости псевдооживления к скорости начала псевдооживления называется числом псевдооживления и характеризует интенсивность перемешивания частиц и его состояние.

43 вопрос. Основной закон теплопроводности (Фурье). Тепловое напряжение поверхности теплообмена (удельный тепловой поток)

Основным законом передачи тепла теплопроводностью является закон Фурье, согласно которому количество теплопроводности через элемент поверхности dF , перпендикулярный тепловому потоку, за время dt прямо пропорционально температурному градиенту $\frac{\partial t}{\partial n}$, поверхности dF и времени dt : $dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF dt$ или $q = \frac{Q}{F \tau} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}$, где q — плотность теплового потока или удельный тепловой поток, λ — коэффициент теплопроводности, который показывает, какое количество тепла проходит вследствие теплопроводности в единицу времени через единицу поверхности теплообмена при падении температуры на 1 градус на единицу длины нормали к изотермической поверхности и зависит от природы вещества, его структуры, температуры.

44 вопрос. Уравнение теплопроводности Фурье для многослойной стенки.

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{ct1} - t_{ct2}) F \tau$$

- Уравнение теплопроводности плоской стенки при установившемся процессе теплообмена. Если плоская стенка состоит из n слоев, отличающихся друг от друга теплопроводностью и толщиной, то при установившемся процессе через каждый слой стенки пройдет одно и то же количество тепла, которое может быть выражено для различных слоев уравнениями для одинарной стенки. Складывая левые и правые части

$$Q = \frac{(t_{ct1} - t_{ct2}) F \tau}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}$$

системы таких уравнений, получим $Q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) = (t_{ct1} - t_{ct2}) F \tau$ или

45 вопрос. Коэффициенты теплопроводности газов жидкостей и твердых материалов.

Коэффициенты теплопроводности газов $\lambda = f$ (В (атомность), C_v (изохорная теплоемкость), μ (вязкость)) возрастают с повышением температуры и незначительно меняются с изменением давления. Для большинства жидкостей значения $\lambda = f$ (А (ассоциация), C , ρ , μ),

наоборот, уменьшаются при увеличении температуры. Исключение составляет вода, λ которой несколько возрастает с повышением температуры до 130 градусов Цельсия и при дальнейшем ее увеличении начинает снижаться. Для большинства металлов коэффициенты теплопроводности уменьшаются с повышением температуры, значения λ резко снижаются при наличии в металлах примесей.

46 вопрос. Тепловое подобие в пограничном слое (Критерий Нуссельта Nu).

Из уравнений Фурье и теплоотдачи $dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial \delta} dF d\tau$ $dQ = \alpha (t_{ст} - t_{ж}) dF d\tau$,

приравняв их и разделив, получим безразмерный комплекс величин $\frac{\alpha l}{\lambda} = Nu$, называемый критерием Нуссельта. Равенство критериев Нуссельта характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой и потоком жидкости. На основе совместного рассмотрения уравнений Фурье и теплопереноса можно показать, что Nu является мерой соотношения толщины пограничного слоя δ и определяющего геометрического размера. В него обычно входит определяемая в задачах по конвективному теплообмену величина α .

47 вопрос. Тепловое подобие в ядре потока (Критерий Пекле, Рейнольдса, Прандтля).

Рассмотрим условия подобию в ядре потока. Из уравнения Фурье-Кирхгофа сумму членов, отражающих влияние скорости на поток заменяем величиной $\frac{l}{t} w$, сумму членов, характеризующую перенос тепла путем теплопроводности заменим величиной $\frac{\alpha l}{t^2}$. Разделив

первый на второй и произведя необходимые сокращения, получим $\frac{wl}{\alpha} = Pe$ - безразмерный комплекс, критерий Пекле. Который является мерой соотношения между теплом, переносимым путём конвекции и путем теплопроводности при конвективном теплообмене. Критерий Рейнольдса отражает влияние силы трения на движение жидкости $\frac{\rho w l}{\mu} = Re$ и получается подобным преобразованием уравнения Навье-Стокса. Критерий Пекле может быть представлен как произведение двух безразмерных комплексов $Pe = \frac{wl}{\alpha} \cdot \frac{\alpha}{\lambda} = \frac{wl\rho}{\mu} \cdot \frac{\mu c_p}{\lambda} = Re \cdot Pr$, где $\frac{\alpha}{\lambda} = \frac{\mu c_p}{\lambda} = Pr$ - критерий Прандтля, характеризующий физические свойства теплоносителей в процессах конвективного теплообмена.

48 вопрос. Теплоотдача при вынужденном движении потока (ламинарном, турбулентном).

Для установившегося турбулентного движения ($Re > 10000$): $Nu_{ж} = 0,023 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,4}$

В случае значительного изменения физических свойств теплоносителей в процессе теплообмена:

$Nu_{ж} = 0,021 Re_{ж}^{0,8} Pr_{ж}^{0,43} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$, где $Pr_{ст}$ — критерий Прандтля при средней температуре стенки аппарата.

Для переходного режима ($2300 < Re < 10000$), приближенно рассчитывают по формуле

$Nu_{ж} = 0,008 Re_{ж}^{0,9} Pr_{ж}^{0,43}$, для ламинарного режима применимо уравнение $Nu_{ж} = 0,17 Re_{ж}^{0,33} Pr_{ж}^{0,43} Gr_{ж}^{0,1} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$

49 вопрос. Влияние направленности теплового потока и величины движущей силы процесса dt на величину альфа (коэффициента теплоотдачи).

49 Влияние q и Δt на α



$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}$$

при $\uparrow T$, $\mu \uparrow$; $c \uparrow T$, $Pr \downarrow$

1) при охл. ж-ти

2) ~~при~~ изотермич. поток

3) при нагревании ж-ти

Опред. геом. p-p для труб \varnothing

$$d = d_{жв}$$

Расчетная формула для газов упрощается, т.к. для газов $Pr = const$, т.к. не зависит от T и p

$$\frac{Pr}{Pr_{ст}} = 1 - \text{для газов}$$

$$Nu = f(Gr, Re, Pr)$$

Из уравнений теплоотдачи получаем уравнение теплопередачи $Q = KF\Delta t_{cp}\tau$, где K – коэффициент теплопередачи. Количество тепла, передаваемое от более нагретого к более холодному теплоносителю пропорционально поверхности теплообменника F , среднему температурному напору и времени теплообмена. Для непрерывных процессов $Q = KF\Delta t_{cp}$ показывает какое количество тепла переходит от более нагретого к более холодному телу в 1 сек через поверхность теплообмена 1м^2 при средней разности t между теплоносителями, равной 1 град. Средний температурный напор зависит от характеристик измерения температуры.

51 вопрос. Соотношение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.

Для определения K (теплопередачи) необходимо рассчитать α_1 и α_2 (теплоотдачи) по обе стороны стенки. Когда перенос тепла происходит через плоскую стенку, коэф.

определяется: $K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$, получив K проверяем правильность t_{cp} и τ , взятых вначале для получения α_1 и α_2 . Получив такое соотношение можно сделать выводы, приводящие к интенсификации процесса теплообмена, например всегда стоит увеличивать меньшую α , следить за загрязнениями, использовать хорошо проводящие материалы для стенки.

52 вопрос. Теплоотдача в некруглых трубах, змеевиках, в пучках труб при вынужденной конвекции.

Для некруглых труб используется та же расчетная формула, только с эквивалентным

диаметром (формула в развернутом виде): $\frac{ad_{экв}}{\lambda_{ж}} = 0,023 \left(\frac{w_{ср} d_{экв}}{\nu_{ж}} \right)^{0,8} \left(\frac{c_{ж} \mu_{ж}}{\lambda_{ж}} \right)^{0,4}$

Для змеевиков к α вводится поправочный коэффициент вследствие дополнительной

турбулизации потока в местах изгиба: $\alpha_R = \alpha \left(1 + 3,54 \frac{d}{D} \right)$, где D – диаметр витка змеевика.

Для пучков труб отдельные формулы:

при шахматном расположении труб

$$Nu_{ж} = 0,40 Re_{ж}^{0,60} Pr_{ж}^{0,36} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$$

при коридорном расположении труб

$$Nu_{ж} = 0,27 Re_{ж}^{0,63} Pr_{ж}^{0,36} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$$

53 вопрос. Конденсация пара в присутствии неконденсирующегося газа. Теплоотдача перегретого пара.

При наличии в паре даже небольших примесей воздуха или других неконденсирующихся газов величина α для конденсирующегося газа резко снижается. Неконденсирующийся газ скапливается в паровом пространстве, повышает общее парциально давление, парциальное давление пара падает. Это значит, что теплопередача пара в присутствии неконденсирующегося газа резко снижается.

Теплоотдача перегретого пара:

$$t_{ст} < t_{конд}, \text{ тогда } \Delta Q = \alpha_{п.п.} (t_{ст} - t_{п.п.}) \Delta F$$

$$t_{ст} > t_{конд}, \text{ тогда } \Delta Q = \alpha_{п.п.} (t_{п.п.} - t_{нас}) \Delta F$$

$r' = r + C_{ср} (t_{п.п.} - t_{нас})$ – удельные теплоты парообразования и перегрева, используется

для расчета коэффициента теплоотдачи пара по формуле $\alpha = C \sqrt[4]{\frac{3 \rho_{ж}^2 g r'}{\mu_{ж} l \Delta t'}}$

54 вопрос. Теплоотдача при конденсации пара. Влияние расположения и формы поверхности конденсации на коэффициент теплоотдачи.

Теплоотдача от конденсирующегося пара осуществляется в условиях пленочной конденсации. На теплоотдачу влияет шероховатость (чем больше шероховатость, тем толще книзу становится пленка конденсата), положение в пространстве поверхности конденсации и размера стенки.

$Nu = C (Ga \cdot Pr \cdot K)^{0,25}$, где $K = \frac{r}{c_{ж} \Delta t}$ это критерий конденсации.

$$\alpha = C \sqrt[4]{\frac{\lambda_{ж}^3 \rho_{ж}^2 g r}{\mu_{ж} l \Delta t}}$$

Подставив в уравнение критерии, получим $\alpha = C \sqrt[4]{\frac{\lambda_{ж}^3 \rho_{ж}^2 g r}{\mu_{ж} l \Delta t}}$, где l – определяющий геометрический размер. Для вертикальной стенки $C = 2,04$ (опытным путем), а определяющим геометрическим размером – высота стенки H . Для горизонтальной поверхности $C = 1,28$, определяющим геометрическим размером является наружный диаметр трубы.

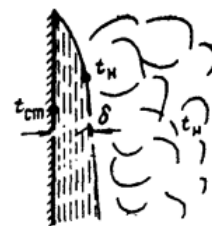


Рис. VII-11. Распределение температур в пленке конденсата.

55. вопрос. Средняя разность температур при прямо- и противотоке теплоносителей. Технологические особенности данных схем.

Средняя разность температур при прямотоке: $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}$

Средняя разность температур при противотоке: $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$

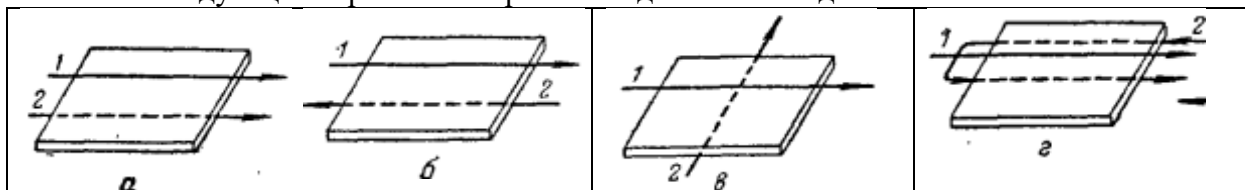
Скорость теплообмена при противотоке растет, это более экономично, но в зависимости от технологического процесса может быть выбран прямоток (например, в барабанных сушилах, чтобы не перегреть материал).

56 вопрос. Теплоотдача при кипении жидкостей. Пузырчатый и пленочный режим кипения.

Теплоотдача при кипении – процесс со сложным механизмом. Процесс переноса тепла при кипении складывается из отдачи тепла жидкости стенкой и передачи тепла внутренней поверхности пузырька в виде теплоты испарения. Очаги образования мелких пузырьков носят название центров парообразования. При повышении разности температур происходит увеличение плотности теплового потока, а возникающее при этом перемешивание жидкости за счет отрыва пузырьков ведет к увеличению α коэффициента теплоотдачи (зона пузырьчатого кипения). Однако при дальнейшем увеличении разности температур между стенкой и жидкостью число центров парообразования возрастает и происходит слияние пузырьков пара и поверхность нагрева покрывается плохопроводящей тепло пленкой перегретого пара, что приводит к значительному уменьшению величины α (зона пленочного кипения). В точке перехода от ядерного к пленочному кипению достигаются максимальные q и α , которые устанавливаются экспериментально.

57 вопрос. Теплопередача при переменных температурах. Средняя разность температур (при прямотоке, противотоке, смешанном и перекрестном токах).

Наиболее часто теплопередача в промышленности протекает при переменных температурах теплоносителей. Температуры теплоносителей обычно изменяются вдоль поверхности теплообмена F . Теплопередача при переменных температурах зависит от взаимного направления движения теплоносителей. В непрерывных процессах теплообмена возможны следующие варианты направления движения жидкостей:



Параллельный или прямоток, при котором теплоносители движутся в одном направлении	Противоток, при котором теплоносители движутся в противоположных направлениях	Перекрестный ток, при котором теплоносители движутся взаимно перпендикулярно друг другу	Смешанный ток, при котором один из теплоносителей движется в одном направлении, а другой как прямотоком, так и противотоком к нему
---	---	---	--

Средняя разность температур при прямотоке: $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}$

Средняя разность температур при противотоке: $\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$

При смешанном и перекрестном токе ср. разность температур часто находят как при противотоке.

58 вопрос. Определение потерь теплоты в окружающую среду. Изоляционные материалы. Определение толщины слоя изоляции.

На практике тепло передается путем трех или двух видов (конвекция, теплопроводность, тепловое излучение). Если теплообмен между стенкой и воздухом, то тепло передается конвекцией и излучением. Такие процессы теплоотдачи носят название сложных и типичным примером является потеря тепла стенками аппаратов в окружающую среду. Количество тепла, отдаваемого стенкой только путем теплового излучения:

$Q_{\lambda} = 5,67 \epsilon_{np} F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$, преобразуем его в следующий вид $Q_{\lambda} = \alpha_{\lambda} F (t_{ст} - t_{ж})$, где

$\alpha_{\lambda} = \frac{5,67 \epsilon_{np} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{t_{ст} - t_{ж}}$, который является коэффициентом теплоотдачи

лучеиспусканием. Суммарная отдача тепла стенкой путем конвекции и теплового излучения характеризуется суммарным коэффициентом теплоотдачи: $\alpha_k + \alpha_{\lambda} = \alpha_{общ}$,

который в инженерных задачах чаще всего определяется эмпирически по приближенным

формулам. $\alpha_{общ} = 9,3 + 0,058 t_{ст. нар}$ Для уменьшения потерь тепла в окружающую среду

трубопроводы и аппараты покрывают тепловой изоляцией. Расчет толщины тепловой изоляции идет также по эмпирическим формулам, чтобы уменьшить температуру наружной стенки аппарата.

59 вопрос. Нагревание острым и глухим паром.

Греющий агент – насыщенный водяной пар (высокий коэффициент теплоотдачи, постоянство температуры конденсации, высокий КПД, доступность, пожаробезопасность, но значительное возрастание давления с повышением температуры). Наиболее распространено нагревание глухим паром, передающим тепло через стенки теплообменного аппарата. Греющий пар и котла направляется в теплообменник, где жидкость нагревается паром через разделяющую их стенку. Так как пар конденсируется при соприкосновении со стенками аппарата, его вводят сверху для облегчения забора конденсата. Нагревание острым паром производят, когда допустимо смешение нагреваемой среды с паровым конденсатом, его вводят непосредственно в нагреваемую жидкость. Такой способ нагрева проще и эффективнее, чем нагрев глухим паром. Если одновременно с нагреванием жидкость необходимо перемешать, используют барботажные трубы. Также для уменьшения шума используют бесшумные сопловые подогреватели.

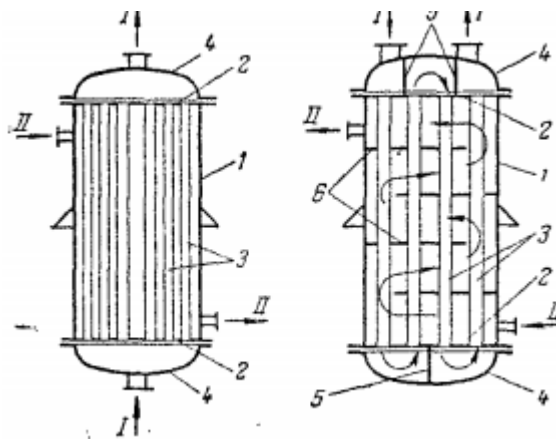
60 вопрос. Обратные холодильники.

Холодильник - это прибор для конденсации пара при помощи охлаждающей среды, чаще всего воды. Обратный холодильник - применяется для конденсирования паров и возврата конденсата в реакционную массу. Устанавливают такие холодильники обычно вертикально. В промышленности вариации обратных холодильников являются

ректификационная колонна, за исключением того, что в обратном холодильнике не происходит отвод легколетучей фракции, все, что испарилось попадает обратно в реакционную массу.

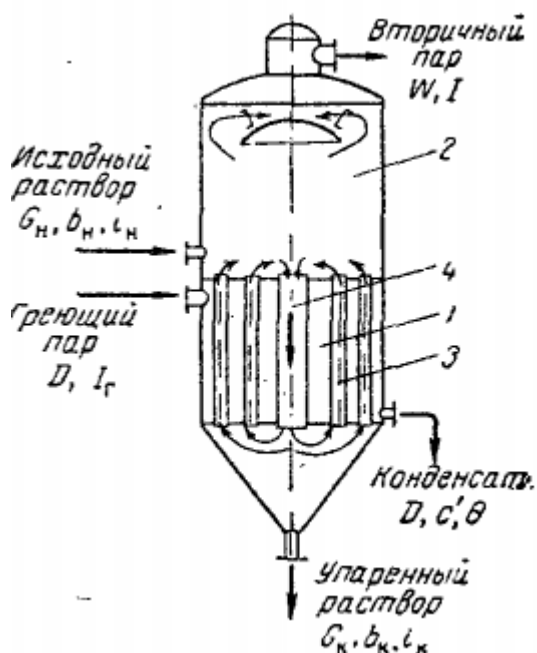
61 вопрос. Принцип использования и особенности установки кожухотрубчатых теплообменников (конденсаторов) в технологических схемах.

Кожухотрубные теплообменники относятся к числу наиболее часто применяемых поверхностных теплообменников. В них одна из обменивающихся теплом сред движется внутри труб, а другая – в межтрубном пространстве. Среды обычно направляют противоток друг к другу. При этом нагреваемую среду направляют снизу вверх, а среду отдающую тепло – в противоположном направлении. Наиболее распространено расположение труб по периметрам правильных шестиугольников внутри теплообменника, потому как так достигается наибольшая компактность укладки труб. Трубы закрепляются развальцовкой. Для увеличения производительности теплообменника в нем устанавливаются поперечные перегородки которые делят трубное и межтрубное пространство на секции (многоходовые теплообменники). Вследствие этого достигается эффект смешанного тока, что приводит к возрастанию интенсивности теплообмена. Для уменьшения температурных деформаций, обусловленных большой разностью температур труб и кожуха, значительной длиной труб используют кожухотрубные теплообменники с компенсаторами, которые допускают некоторое перемещение труб относительно кожуха аппарата.

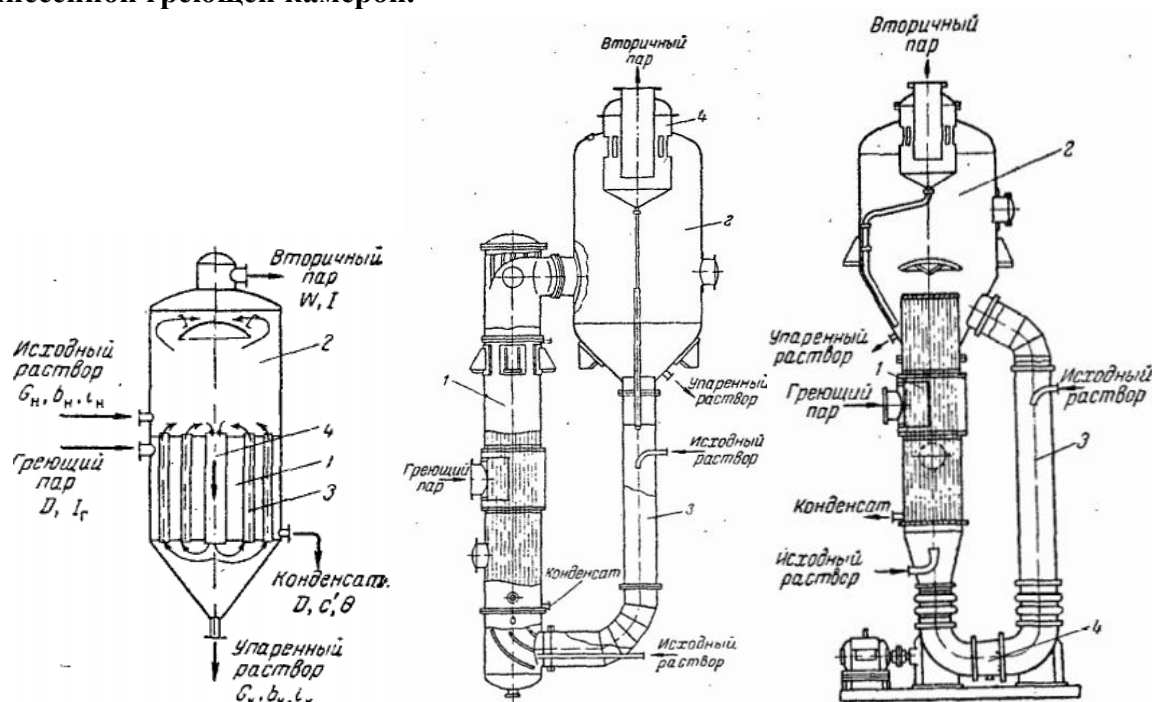


62 вопрос. Методы выпаривания. Выпарные аппараты с естественной циркуляцией.

Выпариванием называют процесс концентрирования жидких растворов практически нелетучих веществ путем частичного удаления растворителя испарением при кипении жидкости. В процессе выпаривания растворитель удаляется из всего объема раствора. Выпаривание под вакуумом имеет ряд преимуществ: становится возможным проводить процесс при более низких температурах, увеличивается полезная разность температур. Ввиду этого становится возможным использовать вторичный пар, но увеличивается стоимость выпарной установки. При выпаривании под давлением также можно использовать вторичный пар, однако выпаривание под избыточным давлением сопряжено с повышением температуры кипения раствора, поэтому пригодно лишь для термостойких веществ и приводит к необходимости использовать греющие агенты с более высокими температурами. При выпаривании под атмосферным давлением вторичный пар не используется, такой метод является наименее экономичным, но наиболее простым. Рассмотрим конструкцию одиночного выпарного аппарата с естественной циркуляцией раствора. Выпариваемый раствор подается в камеру и, подогреваясь, поднимается по кипятильным трубам (пар подается в межтрубное пространство), затем в верхней части аппарата происходит отделение вторичного пара от раствора, вторичный пар удаляется сверху, выпаренный раствор попадает в циркуляционную трубу. Естественная циркуляция по замкнутому контуру достигается за счет разности плотностей выпаренного раствора и выпариваемого.



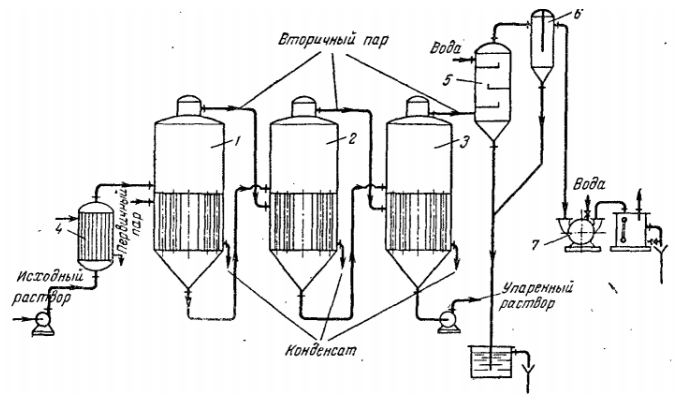
63 вопрос. Выпарные аппараты с естественной и принудительной циркуляцией, с вынесенной греющей камерой.



<p>Выпариваемый раствор подается в камеру и, подогреваясь, поднимается по кипяtilьным трубам (пар подается в межтрубное пространство), затем в верхней части аппарата происходит отделение вторичного пара от раствора, вторичный пар удаляется сверху, выпаренный раствор попадает в циркуляционную трубу. Естественная циркуляция по замкнутому контуру достигается за счет разности плотностей выпаренного раствора и выпариваемого.</p>	<p>При размещении нагревательной камеры вне корпуса аппарата повышается интенсивность выпаривания за счет увеличения разности плотностей в циркуляционном контуре и за счет увеличения длины кипяtilьных труб. Также выносная камера легко отделяется, что облегчает обслуживание. Получили широкое распространение благодаря универсальности, удобству эксплуатации, хорошей теплопередаче.</p>	<p>Для устранения отложения накипи в трубах необходимы большие скорости циркуляции. В аппаратах с принудительной циркуляцией скорость ее определяется производительностью циркуляционного насоса и не зависит от высоты уровня жидкости в трубах или от интенсивности парообразования. Кипение происходит только на коротком участке на выходе из труб. Чаще всего используют пропеллерные насосы потому как они способны перекачивать большие объемы жидкости при умеренной расходе энергии.</p>
---	--	---

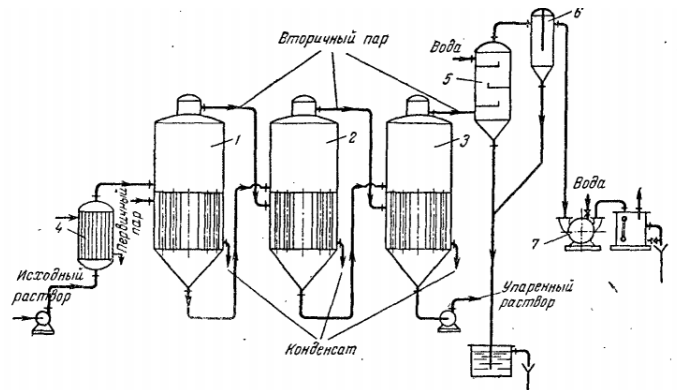
64 вопрос. Схема выпарной установки непрерывного действия.

Принцип действия установки непрерывного действия состоит в непрерывной подаче выпариваемого материала и одновременном заборе выпаренного материала, при достижении им определенной концентрации. Такие установки могут быть однокорпусными (Очень редко) или многокорпусными. Для создания движущей силы обычно используется нагнетающий насос для подачи и вакуум насос для забора в однокорпусных установках, так как использование одного насоса не позволит проводить процессы одновременно. Для многокорпусной установки используется только один насос, создающий избыток давления в первом корпусе или вакуум в последнем.



65 вопрос. Многокорпусное выпаривание. Схема проточной выпарной установки.

Принцип действия установки непрерывного действия (или многокорпусных установок) состоит в многократном использовании тепла греющего пара, поступающего в первый корпус, путем обогрева каждого следующего корпуса вторичным паром из предыдущего корпуса. В таких установках присутствует эффект самоиспарения пара из-за разности давлений в каждом последующем корпусе. Различают установки проточные и противоточные, с параллельным питанием корпусов и без, под разрежением или под избыточным давлением.



66 вопрос. Полная и полезная разность температур при выпаривании (температурные потери).

Общая разность температур есть разность между температурой первичного пара и температурой насыщения пара в конденсаторе $\Delta t_{\text{общ}} = T_1 - T'_{\text{конд}}$. Общая разность температур не может быть полностью использована, поэтому полезная разность температур будет равна: $\sum \Delta t_{\text{пол}} = T_1 - T'_{\text{конд}} - \sum \Delta$. Потери складываются из температурной, гидростатической и гидравлической депрессий. Температурная депрессия равна разности между температурой кипения раствора и температурой кипения чистого растворителя при одинаковом давлении. Гидростатическая депрессия обусловлена тем, что вследствие гидростатического давления столба жидкости и паро-жидкостной эмульсии в трубах температура кипения нижерасположенных слоев жидкости будет больше чем температура вышерасположенных. Гидравлическая депрессия связана с гидравлическими сопротивлениями (трения и местными сопротивлениями), которые должны преодолевать жидкость и пар.

67 вопрос. Материальный и тепловой баланс процессов выпаривания. Расход пара на процесс выпаривания.

Общий материальный баланс $G_n = G_k + W$, Мат баланс по сухому веществу $\frac{G_n b_n}{100} = \frac{G_k b_k}{100}$.

Чаще всего заданы G_n , b_n , и b_k или расход исходного раствора, и концентрации исходного и конечного растворов. Зная эти величины находят производительность аппарата по упаренному раствору и по выпаренной воде:

$$G_k = \frac{G_n b_n}{b_k}, \quad W = G_n - G_k = G_n \left(1 - \frac{b_n}{b_k}\right)$$

Уравнение теплового баланса имеет вид $G_n t_n + D I_r = G_k i_k + W I + D i' + Q_{\text{конц}} + Q_p$, где D – расход греющего пара, I_r – энтальпия вторичного пара, I – энтальпия вторичного пара, $i_n = c_n t_n$ – энтальпия исходного раствора, $i_k = c_k t_k$ – энтальпия упаренного раствора, $i' = c' \theta$ – энтальпия конденсата греющего пара, c_k, c_n, c' – теплоемкости исходного, конечного растворов и конденсата и их температуры t_k, t_n, θ , соответственно

68 вопрос.. Основные свойства влажного воздуха. Диаграмма Рамзина.

Влажный газ является смесью сухого газа и водяного пара, чаще всего рассматривается влажный воздух, смесь сухого воздуха и водяного пара. Абсолютная влажность определяется количеством водяного пара в кг, содержащегося в 1 м³ влажного воздуха. Относительная влажность – это отношение массы водяного пара в 1 м³ влажного воздуха при данных условиях, температуре и общем барометрическом давлении у максимально возможной массе водяного пара в 1 м³ воздуха. В соответствии с уравнением Менделеева-

Клапейрона: $\varphi = \frac{p_n}{p_n}$ можно сравнивать просто давления. Влагосодержание показывает массу водяного пара приходящуюся на 1 кг абсолютно сухого воздуха. Из уравнения

Менделеева-Клапейрона и из относительной влажности получаем $x = \frac{18}{29} \cdot \frac{\varphi p_n}{P - \varphi p_n}$.

Энтальпия влажного воздуха определяется как сумма энтальпий сухого воздуха и водяного пара. $I = c_{с.в} t + x i_n$. Параметры влажного воздуха можно с достаточной для расчетов точностью определять при помощи диаграммы Рамзина. На диаграмме нанесены: линии постоянного влагосодержания – вертикальные линии; линии постоянной энтальпии – прямые, под углом 135 град. к горизонту; линии постоянной относительной влажности; линии постоянных температур или изотермы; Линии парциальных давлений водяного пара

69 вопрос. Потенциалы сушки. Температура точки росы. Температура мокрого термометра.

Температура точки росы – температура, до которой необходимо охладить влажный воздух чтобы он стал насыщенным при постоянном влагосодержании. (для определения проводят вертикальную линию до пересечения с $\varphi=100\%$)

Температура мокрого термометра – температура, при которой воздух насыщается водяным паром при постоянной энтальпии воздуха. (для определения проводят линию постоянной энтальпии воздуха до пересечения с $\varphi=100\%$)

Потенциал сушки – разность между температурой воздуха и температурой мокрого термометра, характеризующая способность воздуха поглощать влагу из материала.

70 вопрос. Расход воздуха и тепла при конвективной сушке.

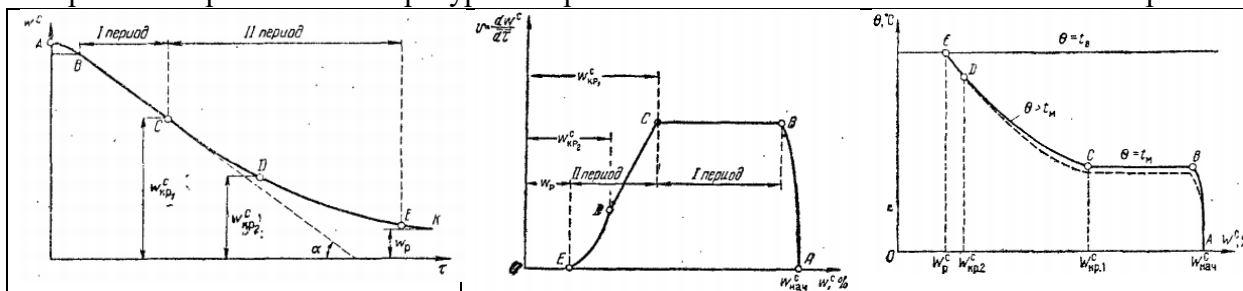
Пусть воздух в сушилку поступает с начальным влагосодержанием, расход абсолютно сухого воздуха на входе и выходе из сушилки одинаков, а влагосодержание на выходе равно x_2 , тогда имеем: $L x_0 + W = L x_2$, получается $L = \frac{W}{x_2 - x_0}$,

Из теплового баланса для конвективной сушилки

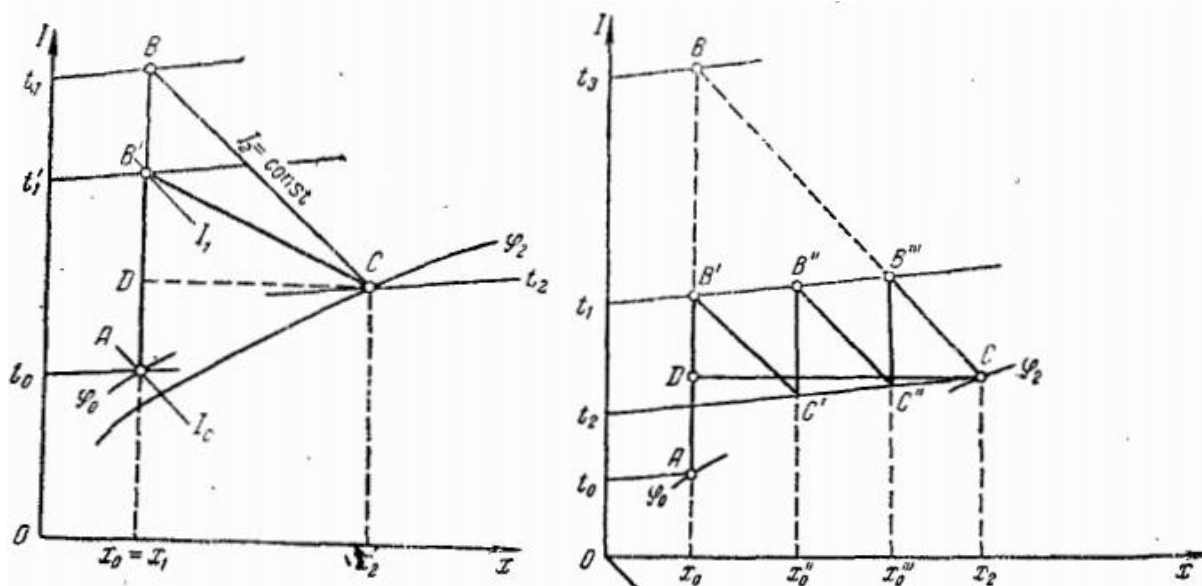
$Q_k + Q_d = L (I_2 - I_0) + G_2 c_m (\theta_2 - \theta_1) + G_T c_T (t_{TK} - t_{TH}) - W c_B \theta_1 + Q_p$, Q_k и Q_d в сумме дают общий расход тепла. Формула может незначительно меняться для разных режимов сушки.

71 вопрос. Кривая сушки, скорости сушки и температурная кривая. Первый и второй периоды сушки.

Зависимость между влажностью материала и временем изображается кривой сушки, которую строят по опытным данным. После небольшого периода прогрева наступает период постоянной скорости сушки (I период) до первой критической влажности, после которой начинается период падающей скорости сушки (II период). Он состоит из двух участков, которые разделяются второй критической влажностью. В конце второго периода сушки влажность материала асимптотически приближается к равновесной, что означает полное прекращение дальнейшего испарения. Скорость сушки есть отношение влажности материала ко времени. Температура материала также изменяется в зависимости от времени.

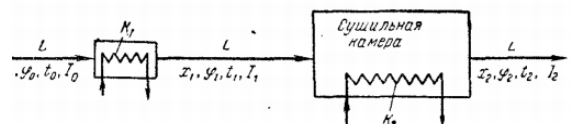
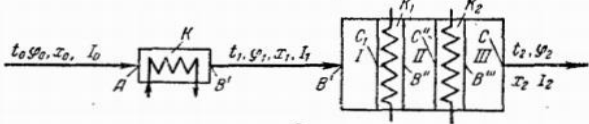


72 вопрос. Изображение и анализ вариантов сушки (нормального и с промежуточным подогревом воздуха) на диаграмме Рамзина.



Сушка с частичным подогревом воздуха в сушильной камере. Является модификацией нормального режима сушки, можно рассматривать ее, так как не сильно отличаются. В нормальном режиме создаются жесткие условия сушки. Воздух разогревается до требуемой температуры однократно и сушит материал при постоянной энтальпии. В сушилке с частичным подогревом воздуха в сушильной камере, энтальпия воздуха увеличивается не только перед сушкой, но и непосредственно во время, что позволяет выбрать более щадящие

Сушка с промежуточным подогревом воздуха по зонам. Воздух нагретый во внешнем калорифере, проходит зону 1, где извлекает из материала часть влаги, попадает в промежуточный калорифер, затем переходит в зону 2, где опять забирает влагу у материала и т.д. Таким образом воздух проходит последовательно все зоны, в каждой из которых осуществляется процесс сушки по основной схеме. Поэтому изменение состояния воздуха носит ступенчатый характер. Это позволяет контролировать температуру до которой нагревается воздух и создавать щадящие условия для полноценной

условия сушки. Расходы же воздуха и тепла равны нормальному режиму.	сушки. Расходы же воздуха и тепла равны нормальному режиму.
	

73 вопрос. Материальный баланс процесса сушки (по общей массе и по влаге).

Баланс по массе всего материала: $G_1 = G_2 + W$

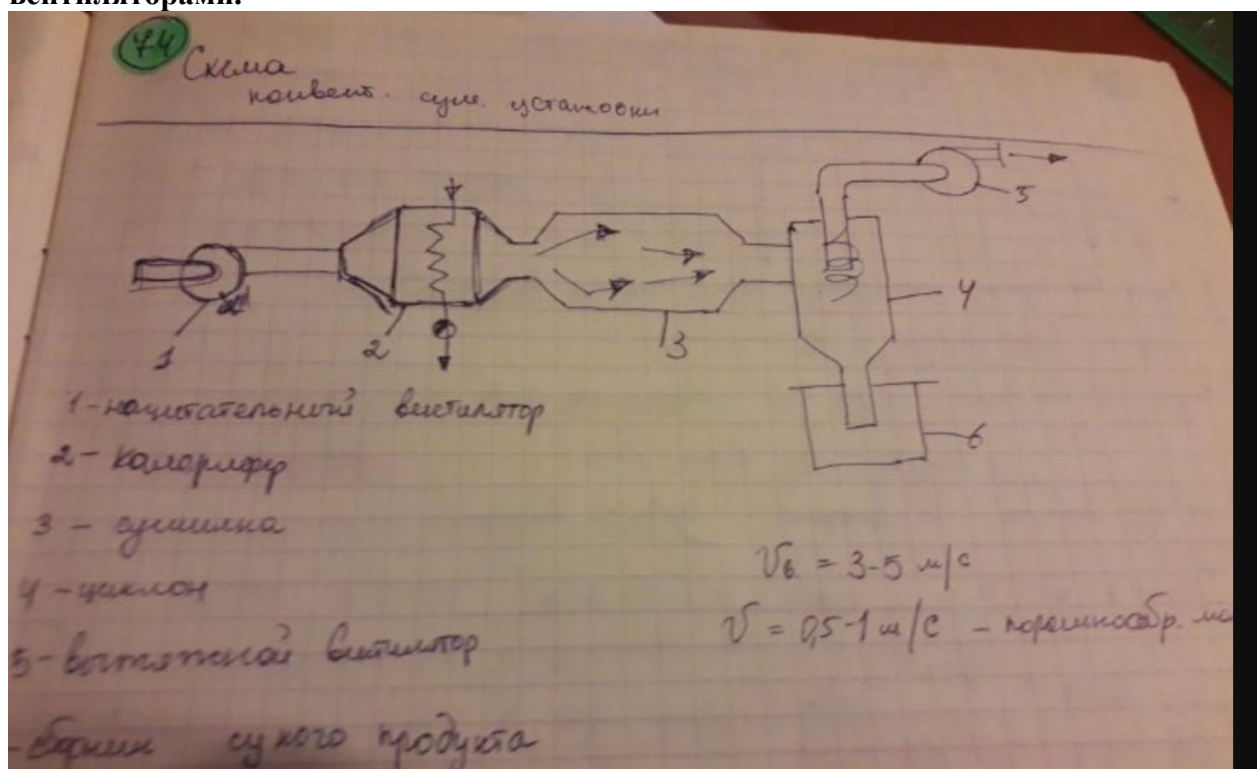
Баланс по абсолютно сухому веществу в высушиваемом материале: $G_1 \frac{100 - w_1}{100} = G_2 \frac{100 - w_2}{100}$

откуда следует $G_1 = G_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1}$ $G_2 = G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2}$, получается, что можно записать

$W = G_1 - G_2$, откуда следует: $W = G_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}$ или $W = G_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$

Баланс по влаге: $Lx_0 + W = Lx_2$, получается $L = \frac{W}{x_2 - x_0}$,

74 вопрос. Схема конвективной сушильной установки с нагнетательным и вытяжным вентиляторами.

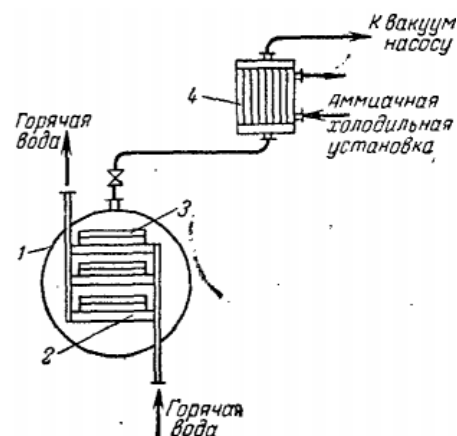


75 вопрос. Изображение и анализ на диаграмме Рамзина процесса сушки с рециркуляцией части отработанного воздуха.

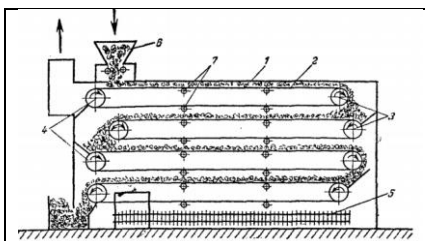
<p>Сушка осуществляется в вертикальной трубе. Частицы материала движутся в потоке нагретого воздуха, скорость которого превышает скорость витания частиц и составляет 10-30 м/с. Процесс сушки длится секунды, не всю влагу сдается испарить. Подходит для зернистых материалов с небольшим размером частиц (до 8-10 мм) иначе снижается эффективность сушки.</p>	<p>Аэрофонтанные сушилки имеют более равномерную сушку, их особенность заключается в том, что восходящая струя газа, осуществляя пневмотранспорт восходящим потоком газа выполняет также функцию циркуляции (перемешивания) материала, так как не весь материал увлекается потоком воздуха, часть по стенкам возвращается в слой материала. Частота циркуляции зависит от скорости газа. Минусы в том, что во время сепарации на циклоне происходит измельчение материала.</p>	<p>Процесс в кипящем слое позволяет увеличить поверхность контакта между частицами материала и сушильным агентом, интенсифицировать испарение влаги и сократить продолжительность сушки. Сушильный агент проходит через отверстия газораспределительной решетки с заданной скоростью и поддерживает материал в кипящем состоянии. Отработанные газы попадают в аппараты фильтрации и выбрасываются в атмосферу. При должном аппаратном оформлении процесса достигается экономичная сушка с высоким влагосъемом с единицы объема сушильной камеры.</p>

78 вопрос. Сублимационная сушка.

Сушка материалов в замороженном состоянии, при которой находящаяся в них в виде льда влага переходит в пар, минуя жидкое состояние, называется сублимационно или молекулярной. Такая сушка проходит в глубоком вакууме и при низких температурах. Тепло передается преимущественно радиацией. Процесс удаления влаги из материала протекает в три стадии: при снижении давления в сушильной камере происходит быстрое замораживание влаги и сублимация льда за счет тепла, отдаваемого самим материалом, при этом удаляется 15% влаги, удаление основной влаги сублимацией, что соответствует периоду постоянной сушки, и удаление остаточной влаги тепловой сушкой. Применение этого дорогостоящего способа сушки целесообразно лишь в тех случаях, когда к высушенному продукту предъявляются высокие требования сохранения его свойств при длительном хранении, не выдерживающих обычных тепловых методов сушки, для сохранения их биологических свойств.



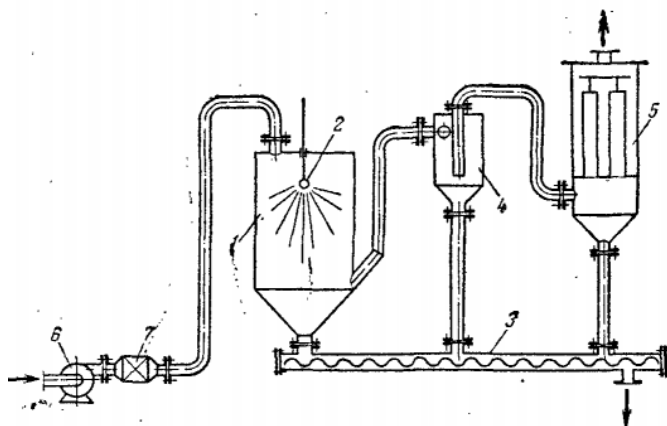
79 вопрос. Сушилки: ленточная, барабанная, гребковая.

		
<p>В этих сушилках сушка материалов происходит непрерывно при атмосферном давлении. Материал движется на бесконечной ленте, натянутой на барабаны, один из которых ведущий. Влажный материал подается на один конец ленты, а подсушенный удаляется с другого конца. Сушка осуществляется горячим воздухом или топочными газами, которые движутся противотоком или перекрестным током к направлению движения материала. Громоздки, сложны в обслуживании, малая производительность и высокие расходы.</p>	<p>Эти сушилки широко применяются для непрерывной сушки при атмосферном давлении кусковых, зернистых и сыпучих материалов. Имеет цилиндрический барабан с небольшим наклоном к горизонту, опирающийся на ролики. Медленно вращается. Имеет почти по всей длине специальную насадку, которая обеспечивает равномерное распределение и хорошее перемешивание материала по сечению барабана, а также тесное соприкосновение с сушильным агентом, который подается прямотоком. Насадки варьируют исходя из свойств высушиваемого материала.</p>	<p>В этих контактных сушилках периодического действия скорость сушки несколько увеличивается за счет перемешивания материала медленно вращающейся горизонтальной мешалкой с гребками. Похожи на барабанные, за исключением того, что имеется вал с закрепленными на нем взаимно перпендикулярно гребками, изогнутые в разные стороны на разных сторонах барабана. Снабжена реверсивным приводом и свободно перекачивающимися трубами между гребками, способствующими дополнительному перемешиванию.</p>

80 вопрос. Распылительные сушилки.

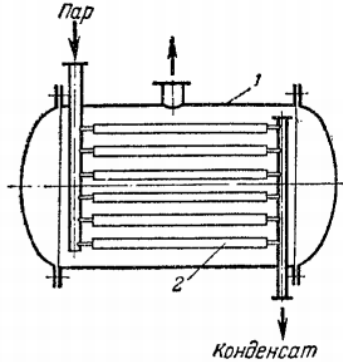
В этих сушилках достигается высокая интенсивность испарения влаги за счет тонкого распыления высушиваемого материала в сушильной камере, через которую проходит сушильный агент. При сушке в распыленном состоянии удельная поверхность испарения очень велика, что ведет к ускорению процесса сушки и она проходит очень быстро (15-30 сек). Причем температура частиц не превышает температуру адиабатического испарения чистой жидкости, поэтому

сушка идет не только быстро, но и мягких условиях. Распыление проходит механически (менее затратно, но более чувствительно к засорению) и пневматически (более затратно, распыление не такое равномерное). Чаще применяют прямоток газа (позволяет производить



сушку при высоких температурах газа без перегрева), но бывает и противоток (скорость осаждения меньше, следовательно, увеличивается плотность продукта).

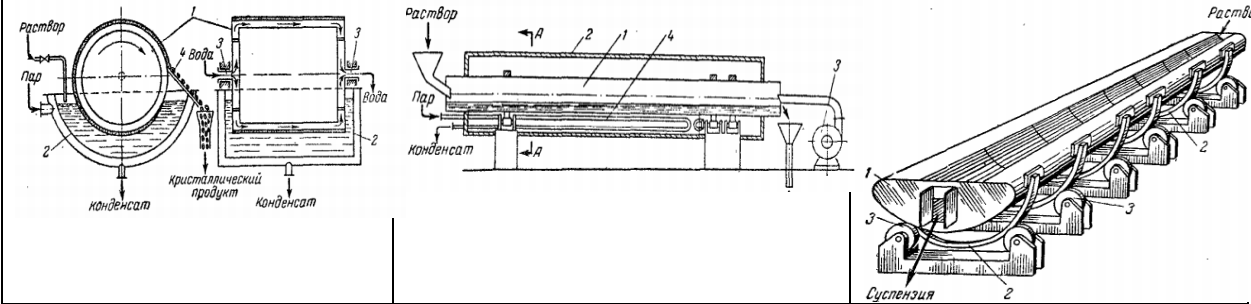
81 вопрос. Схема установки с вакуум-сушильным шкафом.



Простейшими контактными сушилками периодического действия являются вакуум-сушильные шкафы, которые в настоящее время используются для сушки малотоннажных продуктов, где применение высокопроизводительных сушилок не оправдано. Такой шкаф представляет собой цилиндрическую камеру, в которой размещены полые плиты, обогреваемые водой или паром. Материал находится на противнях, установленных на плитах. Во время работы камера герметично закрыта и соединена с установкой для создания вакуума. Загрузка и выгрузка производятся вручную.

Подходят, как и все вакуум-сушилки, для сушки легкоокисляющихся, взрывоопасных, выделяющих вредные или ценные газы веществ, но малопроизводительны и малоэффективны.

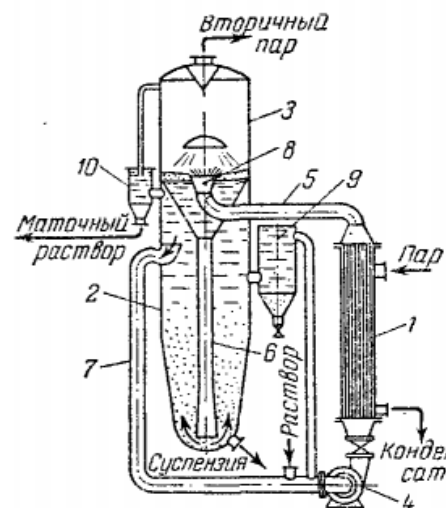
82 вопрос. Конструкция кристаллизаторов (вальцовый, барабанный, качающийся)



<p>Аппарат представляет собо горизонтальный вращающийся охлаждаемый изнутри металлический барабан, который ччастично погружен в корыто с кристаллизуемым раствором. Корыто обогревается во избежание преждевременной кристаллизации. Идет постоянная смена хладагента, для поддержания нужной температуры. Образовавшийся слой кристаллов снимается ножом. Продукт мелкокристаллический, содержат много примесей из-за высокой производительности.</p>	<p>Основная часть аппарата — слегка наклонная вращающаяся от привода труба, заключенная в кожух. Раствор поступает с верхнего конца трубы, а кристаллы выгружаются из ее нижнего конца. Воздух, подаваемый вентилятором, движется над раствором противотоком к направлению движения раствора. При вращении трубы раствор смачивает стенки, что увеличивает поверхность испарения. Кристаллы крупные, производительность малая. Помещается в обогреваемый кожух, чтобы не происходило образование кристаллов на стенках барабана.</p>	<p>Такой кристаллизатор представляет собой длинное неглубокое открытое корыто, опирающееся бандажами на ролики. Корыто установлено с наклоном вдоль продольной оси, способно медленно качаться. Медленно протекая по корыту, раствор охлаждается, кристаллы растут медленно, получаются крупными, разрушение кристаллов почти устранено.</p>
--	--	--

83 вопрос. Кристаллизаторы с псевдооживленным слоем кристаллов.

Кристаллизация в псевдооживленном слое, помимо увеличения скорости процесса, способствует получению однородных кристаллов правильной формы. Кристаллизация в псевдооживленном слое проводится или с охлаждением раствора до его пересыщения или с удалением части растворителя испарением. После энергичного парообразования пересыщенный раствор опускается в нижнюю часть кристаллизатора. Здесь происходят образование и рост кристаллов. Более крупные кристаллы оседают на дно и отводятся, мелкие удаляются через сборник. Маточный раствор удаляется во избежание накопления загрязнений. Растворы с небольшой степенью пересыщения, производительность невелика. Получение крупных кристаллов с отрицательной растворимостью.



84 вопрос. Классификация массообменных процессов.

Процессы массопередачи – процессы, характеризующиеся переходом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую.

Виды процессов массопередачи:

- Абсорбция – поглощение газа жидкостью (переход из газовой формы в жидкую), обратный процесс – десорбция.
- Экстракция (жидкость-жидкость) – извлечение вещества, растворенного в жидкости, другой жидкостью с ограниченной смешиваемостью с первой (извлекаемый компонент переходит из одной жидкой фазы в другую).
- Перегонка – разделение гомогенных жидких смесей путем взаимного обмена компонентами между жидкостью и паром, полученным испарением разделяемой жидкой смеси.
- Адсорбция – Поглощение компонента газа, пара или раствора твердым пористым поглотителем (переход из газовой/жидкой фазы в твердую). Десорбция – обратный процесс. Ионный обмен – процесс разделения, основанный на способности некоторых твердых веществ обменивать свои подвижные ионы на ионы растворов электролитов.
- Сушка – удаление влаги из твёрдых материалов, главным образом путем ее испарения (из твёрдой фазы в жидкую/газообразную).
- Кристаллизация – выделение твердой фазы в виде кристаллов из растворов или расплавов. Кристаллизация происходит при пересыщении или охлаждении раствора (из жидкой в твердую фазу).
- Растворение и экстракция (в системе тв. тело – жидкость) – процесс обратный кристаллизации, также называется выщелачиванием.

85 вопрос. Основное уравнение массопередачи. Зависимость между коэффициентами массопередачи и массоотдачи.

Скорость массоотдачи пропорциональна движущей силе, равной разности концентраций в ядре и на границе фазы или наоборот для обратного направления переноса. Коэффициенты $M = \beta_g F (\bar{y} - \bar{y}_{гр})$ массоотдачи в данных уравнениях называют коэффициентами массоотдачи. Они показывают, какая масса вещества переходит от $M = \beta_x F (\bar{x}_{гр} - \bar{x})$ поверхности раздела фаз в ядро фазы или обратно через единицу поверхности в единицу времени при движущейся силе, равной единице. Соответственно Основное уравнение массопередачи выглядит следующим образом, где x^* и y^* - равновесные концентрации,

$$\frac{1}{K_g} = \frac{1}{\beta_g} + \frac{m_x}{\beta_x}$$
$$\frac{1}{K_x} = \frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y m_y}$$

а x и y – рабочие концентрации в аппарате. Коэффициент массопередачи показывает какая масса вещества переходит из фазы в фазу за единицу времени через единицу поверхности контакта фаз при движущей силе массопередачи равной единице. Если принять что зависимость между концентрациями фаз линейна, то можно получить зависимость между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи, где m – тангенс угла наклона линии равновесия между фазами.

86 вопрос. Методы определения числа тарелок, высоты и диаметра тарелочных и насадочных аппаратов.

Аналитический и графический (вписывают ступеньки между робей линией и кинетической кривой)

$$F = \frac{G(y_n - y_k)}{K_y(y - y^*)_{\text{ср}}} - \text{площадь контакта насадки}$$

$$H_{\text{насадки}} = \frac{F}{\delta S} = \frac{G(y_n - y_k)}{\delta S K_y(y - y^*)_{\text{ср}}} - \text{где } \frac{G}{\delta S K_y} - \text{значение высоты единичного переноса,}$$

$$\text{а } \frac{(y_n - y_k)}{(y - y^*)_{\text{ср}}} - \text{изменение в газовой фазе рабочих концентраций, } \delta -$$

$$- \text{удельная поверхность насадки, } G - \text{количество чистой газовой фазы.}$$

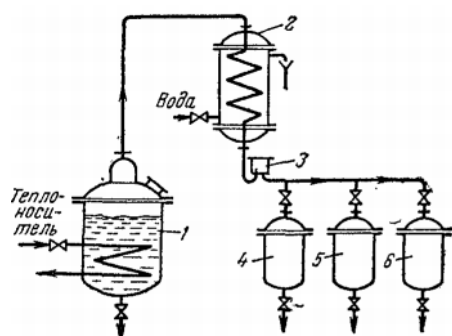
$$H = h(n_T - 1), h - \text{расстояние между тарелками, } n_T - \text{теор. число тарелок.}$$

Расчет теоретического числа тарелок производится по коэффициенту извлечения тарелок и

$$\text{равен } n_T = \frac{\Phi}{1 - \Phi}$$

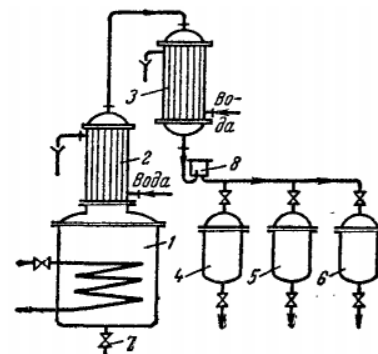
Из уравнения расхода находим диаметр аппарата $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w_0}}$

87 вопрос. Простая перегонка. Перегонка с отбором фракций дистиллята и с дефлегмацией.

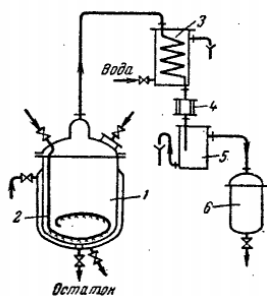


Перегонку проводят путем постепенного испарения жидкости, находящейся в перегонном кубе. Образующиеся пары отводятся и конденсируются. Простая перегонка, производимая периодически и позволяющая производить отбор фракций дистиллята, имеющих различный состав, называется фракционной перегонкой. Такую перегонку проводят при атмосферном давлении или под вакуумом. Для повышения степени разделения смеси

перегонку осуществляют, дополнительно обогащая дистиллят путем дефлегмации. Пары из перегонного куба поступают в дефлегматор, где они частично конденсируются. Из пара конденсируется ВК жидкость и флегма сливается в куб. Пары, обогащенные НК жидкостью, направляются в конденсатор-холодильник, где полностью конденсируются. Окончание операции контролируют по температуре кипения жидкости в кубе.



88 вопрос. Перегонка с водяным паром. Определение расхода пара на перегонку. Схема установки.



Если компоненты исходно смеси нерастворимы в воде, то ее используют в качестве дополнительного компонента, который вводят в куб в виде острого пара. При перегонке высококипящих жидкостей, нерастворимых в воде, с водяным паром температура кипения смеси будет ниже температуры кипения воды при данном давлении. Обычно таким методом очищают от примесей или разделяют смеси веществ, кипящих при температурах, превышающих 100 град. Цельсия. Пар играет двойную роль – теплоносителя и агента, снижающего температуру кипения. Поэтому пар надо вводить в

количестве, большем его теоретического расхода. $G_B = \frac{G_A P_B M_B}{P_A M_A \Phi}$ - теоретический расход пара на сушку.

89 вопрос. Материальный баланс ректификационной колонны непрерывного действия. Уравнение рабочей линии для укрепляющей части ректификационной колонны.

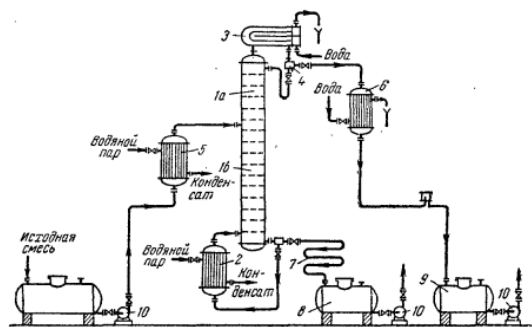
Уравнение материального баланса колонны будет: $F + \Phi = G + W$, где F – количество исходной смеси, G – количество удаляемых паров, P – количество получаемого дистиллята, Φ – количество флегмы возвращаемой обратно. Так как $G = P + W$, то $F = P + W$, Флегмовое число есть отношение $R = \frac{\Phi}{P}$. Уравнение рабочей линии для укрепляющей части

колонны: $y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_P}{R+1}$, Это уравнение связывает неравновесные составы пара, поступающего на тарелку снизу, и жидкости, стекающей с тарелки. $y = \frac{R+f}{R+1} x + \frac{1-f}{R+1} x_W$

Уравнение исчерпывающей части колонны, где $f = \frac{F}{P}$ – количество питания на 1 моль дистиллята.

90 вопрос. Схема ректификационной установки непрерывного действия. Принципиальные основы ее работы.

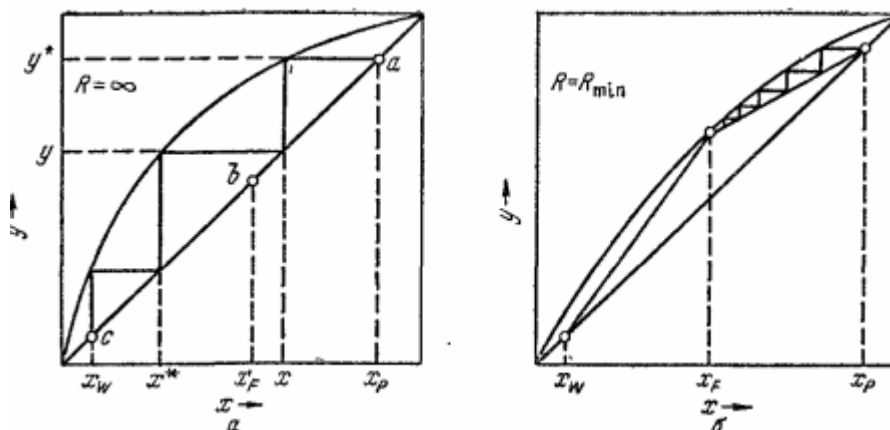
Ректификационная колонная имеет цилиндрический корпус, внутри которого установлены контактные устройства в виде тарелок или насадки. Снизу-вверх по колонне движутся пары, поступающие в нижнюю часть аппарата из кипятильника, создается восходящий поток пара. Пары проходят через слой жидкости на тарелке. При этом происходит переход НК жидкости в пар, а ВК жидкости из пара в жидкость. Таким образом, при прохождении большого числа тарелок, пар, который на выходе из кипятильника был почти чистым ВК, покидает колонну почти чистым НК. Пары конденсируются на дефлегматоре, разделяется в делителе на дистиллят и флегму, флегма возвращается на верхнюю тарелку. Так создается нисходящий поток жидкости. Двигаясь вниз, жидкость все больше обогащается ВК и становится почти чистым ВК на первой тарелке и поступает в кипятильник. На некотором расстоянии от верха колонны находится питающая тарелка, на которую поступает исходная смесь. Питающая тарелка делит колонну на две части, укрепляющую и исчерпывающую.



91 вопрос. Построение линий рабочих и равновесных концентраций при ректификации и определение числа теоретических тарелок.

Построение линий равновесной концентрации происходит опытным путем с помощью графика зависимости температур кипения и конденсации от состава фаз при постоянном давлении. Взаимное положение кривых на фазовых диаграммах определяется первым законом Коновалова (пар обогащается тем компонентом, который понижает температуру кипения смеси при добавлении) и первым законом Вревского (при повышении t смеси. В парах возрастает содержание ВК компонента), которые являются обобщением закона Ле-Шателье. Построение рабочих линий идет по формулам для исчерпывающей и

укрепляющей частей колонны. $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_p}{R+1}$ - укр. и $y = \frac{R+f}{R+1}x + \frac{1-f}{R+1}x_w$ - исч. Построив линии авновесной и рабочей концентраций, можно найти действительное флегмовое число, от которого будет зависеть высота аппарата и расход греющего пара.

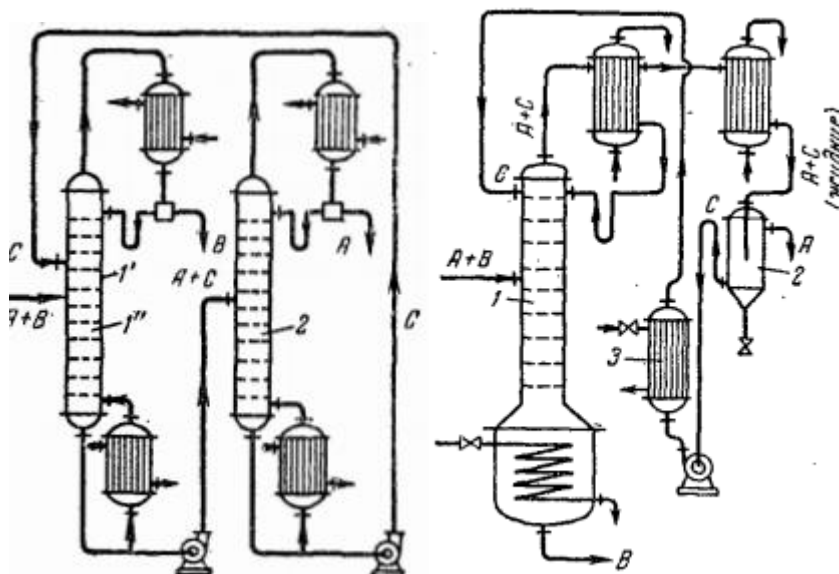


92 вопрос. Тепловой баланс ректификационных колонн непрерывного действия.

Уравнение теплового баланса: $Q_{\text{кип}} + Q_F + Q_{\Phi} = Q_G + Q_W + Q_n$, подставляя вместо Q их значения, и, учитывая, что $F = P + W$, $G = P(R + 1)$ и $\Phi = PR$, и решая относительно расхода тепла в кипятильнике, получим

$Q_{\text{кип}} = P (I - i_F) + PR (I - i_{\Phi}) + W (i_W - i_F) + Q_{\pi}^-$, Теплоемкости и теплоты испарения для бинарных смесей вычисляют по правилу аддитивности, исходя из свойств чистых компонентов.

93 вопрос. Экстрактивная и азеотропная ректификация.



В схеме установки для экстрактивной ректификации исходную смесь, состоящую из компонентов А + В подают на питающую тарелку первой колонны. Разделяющий агент С, смешивающийся с обоими компонентами, вводят чуть выше. С является менее летучим и повышает летучесть компонентов А и В, может даже разрушить азеотроп. Допустим, что В стал более летучим, тогда компонент А извлекается С из паровой фазы и эта смесь переходит на следующую колонну, где происходит регенерация разделяющего агента. Ректификатом первой колонны будет компонент В, второй – А.

При азеотропной ректификации обычно используют разделяющий компонент С, который образует с одним или обоими из компонентов исходной смеси азеотропную смесь, обладающую минимально или максимальной температурой кипения. В Примере образуется смесь А + С с минимальной температурой кипения. Исходный азеотроп подается на питающую тарелку, агент чуть выше. Происходит образование нового азеотропа, ВК компонент удаляется с нижней части, ректификат представляет собой смесь А и С. В примере азеотроп А + С состоит из компонентов с резко отличающейся растворимостью при разных температурах, поэтому при охлаждении конденсата происходит его расслоение.

94 вопрос. Молекулярная дистилляция.

Процесс молекулярной дистилляции протекает путем испарения жидкости с ее поверхности при отсутствии кипения. Поэтому, в отличие от ректификации, молекулярная дистилляция не характеризуется некоторыми постоянными температурой и давлением. Молекулы пара удаляются с поверхности при их образовании и равновесие между паром и жидкостью не устанавливается. Процесс складывается из диффузии молекул НК из глубины слоя жидкости к поверхности, перемещения молекул пара на поверхность конденсации и их конденсация. На первом этапе в установке происходит откачка растворенных в жидкости газов с помощью дегазатора и форвакуум-насоса. После этого смесь попадает в дистилляционный аппарат, из которого газы уже откачаны. Дистиллят и осадок отправляются в разные сборники. Применяется для термически нестабильных обычных и

высокомолекулярных веществ: некоторых пластмасс, витаминов, масел, смазок, жирных кислот, эфиров.

95 вопрос. Конструкции и принципы действия абсорберов

Абсорберы делятся на:

	<p>Поверхностные абсорберы используют для поглощения хорошо растворимых газов. В указанных аппаратах газ проходит над поверхностью. Неподвижной или медленно движущейся жидкости. Обычно устанавливают несколько последовательно расположенных абсорберов такого типа. Бывают обычные и пластинчатые.</p>
	<p>Пленочные абсорберы более эффективны и компактны, чем поверхностные. Поверхностью раздела фаз в них является поверхность текущей пленки жидкости. Различают: трубчатые, с листовой накладкой и с восходящим движением пленки. Несмотря на преимущества этих аппаратов их гидравлическое сопротивление относительно велико</p>
	<p>Насадочные. Получили широкое распространение. Колонны, заполненные насадкой – твердыми телами различной формы, которые укладываются на опорные решетки. Равномерное распределение по всей высоте насадки не достигается за счет пристеночного эффекта. Поэтому часто используют не одну насадку, а комплекс, после каждой ставят перераспределители жидкости. Работают в четырех режимах, пленочном, подвисянии, эмульгирования и уноса, зависят от количества жидкости в насадке и скорости газа. Выбор насадки зависит от конкретного материала.</p>
	<p>Барботажные (тарельчатые). Представляют собой вертикальные колонны, внутри которых на определенном расстоянии друг от друга размещены горизонтальные перегородки – тарелки. С помощью тарелок осуществляется направленное движение фаз и многократное их взаимодействие. Работают в трех режимах, пузырьковом, пенном и струйном. Различают аппараты со сливными устройствами, с ситчатыми, колпачковыми, клапанными, балластными тарелками, с радиальным и диаметральной переливом жидкости или вовсе с тарелками без сливных устройств.</p>
	<p>Распыливающие. В таких абсорберах тесны контакт между фазами достигается путем распыливания или разбрызгивания различными способами жидкости в газовом потоке. Применяются для поглощения хорошо растворимых газов так как коэффициенты массоотдачи высоки и скорость процесса тоже. Различают полый распыливающий, распыливающий абсорбер Вентури и механические абсорберы.</p>

96 вопрос. Конструкции адсорберов.

	<p>Адсорберы с неподвижным слоем поглотителя. Цилиндрические адсорберы вертикального и горизонтального типов периодического действия. Процесс проходит в 4 стадии: адсорбция, десорбция, сушка и охлаждение, но бывают также трех и двух фазная адсорбция.</p>
	<p>Адсорберы с движущимся слоем поглотителя. Исходная газовая смесь поступает в колонну, где взаимодействует с движущимся слоем охлажденного активного угля. Затем уголь с адсорбированными компонентами поступает в ректификационную зону, где потоком газа из угля вытесняют менее сорбируемые компоненты. Затем уголь отправляется в десорбционную зону, где острым паром, очищается и идет на охлаждение.</p>
	<p>С кипящим слоем поглотителя. Увеличенная поверхность контакта фаз и интенсивность массопереноса выше. В однокамерных аппаратах прямоток, в многокамерных противоток, так как газ проходит через перфорированные решетки, имеющие переточные трубы для стекания материала, взаимодействие близко к идеальному вытеснению.</p>

97 вопрос. Ионообменные процессы. Работа ионообменных аппаратов.

A ternary phase diagram for the Fe-C-Mn system. The vertices are labeled A (100% R), B (100% B), and C (100% C). The left side AB has points Q and D, with distances from A indicated as $x_B = 40\%$ and $x_B = 85\%$. The right side BC has point L, with distance from B indicated as $x_C = 25\%$. The bottom side AC has points R and E, with distance from A indicated as $x_B = 40\%$. Point M is located at the intersection of dashed lines connecting D to E, L to R, and Q to C. The distance from M to C along the line QC is indicated as $x_A = 25\%$.

ректификацией или

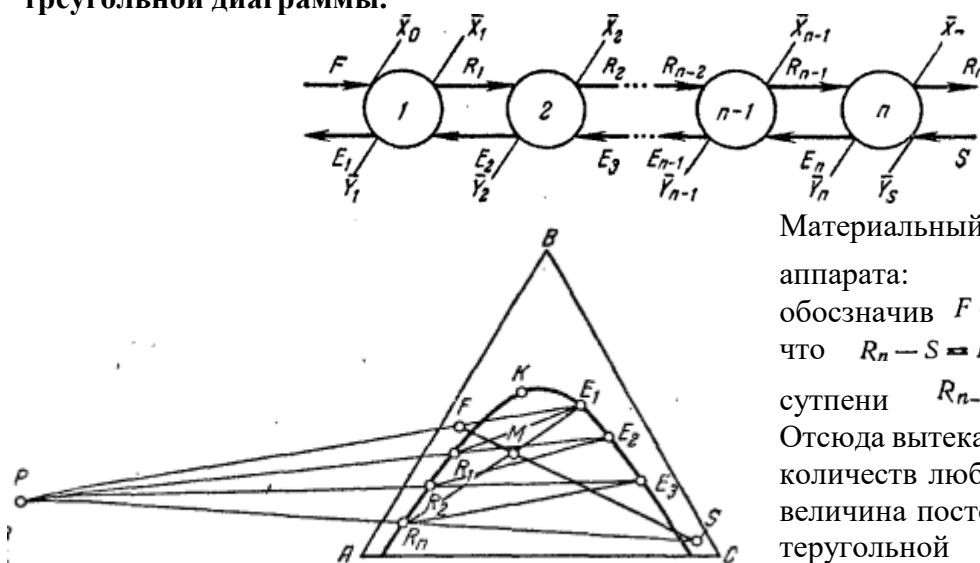
Экстракция таким способом проводится в нескольких ступенях, через которые последовательно движется исходный раствор, причем во всех степенях, начиная со второй,

исходным раствором является рафинат, все более обедненный экстрагируемым компонентом, поэтому концентрации экстрактов снижаются от первой до последней ступени. Исходное количество экстрагента делится на части, причем количество подводимого экстрагента к каждой ступени разнится. В результате для получения рафината высокой чистоты требуются большие объемные расходы чистого экстрагента, в связи с чем данный метод находит ограниченное применение в промышленности. Расчет производится для каждой стадии аналогично расчету одноступенчатого экстрактора и расход экстрагента на каждой стадии лежит в промежутке между максимально возможным и минимально

$$S_{\min} = F \frac{\bar{F}M_1}{M_1S} \quad S_{\max} = F \frac{\bar{F}M_2}{M_2S}$$

возможным. , только каждый раз исходная смесь заменяется на рафинат.

100 вопрос. Расчет противоточной экстракционной установки с использованием треугольной диаграммы.



Материальный баланс всего аппарата:

$$M = F + S = R_n + E_1$$

обозначив $F - E_1 = P$, получим,

что $R_n - S = P$, а для каждой

ступени $R_{n-1} - E_n = R_n - S = P$.

Отсюда вытекает, что если разность количеств любых двух смесей есть величина постоянная, равна P , то на треугольной диаграмме прямые, соединяющие точки, которые

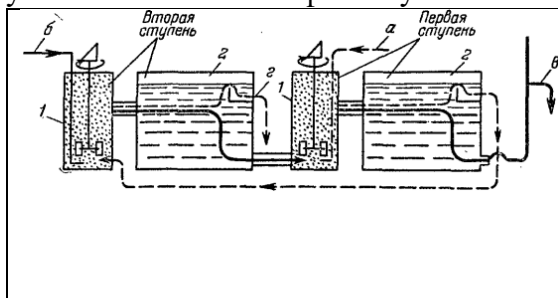
выражают составы этих смесей, пересекутся в одной точке P , называемой полюсом. Это свойство треугольной диаграммы используют для определения числа теоретических ступеней. Число хорд, или нод равновесия, заключенных между крайними лучами PE_1 и PS

$$\frac{S}{F} = \frac{\bar{F}M}{\bar{M}S}$$

определяет число необходимых теоретических ступеней. - удельный расход экстрагента.

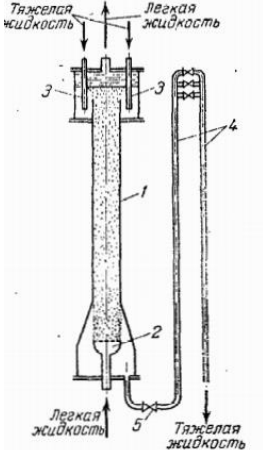
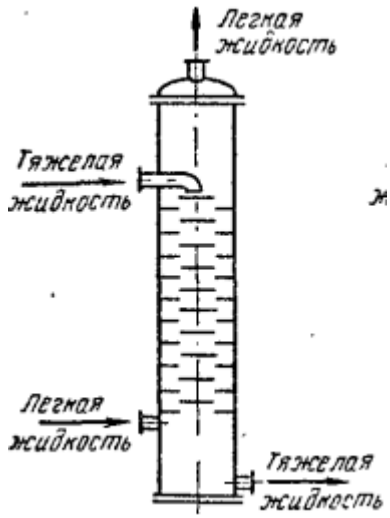
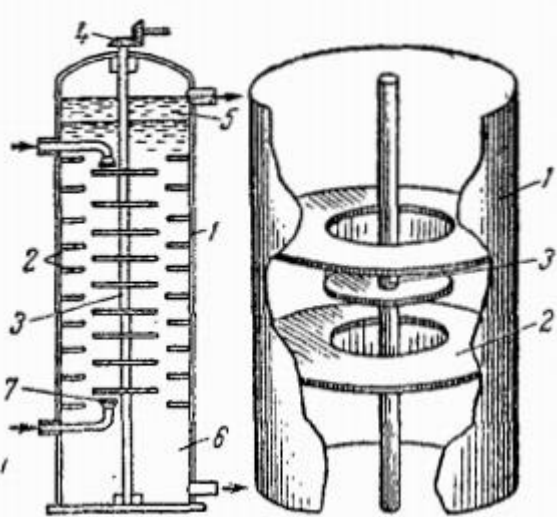
101 вопрос. Конструкции и принципы действия экстракторов (система жидкость-жидкость)

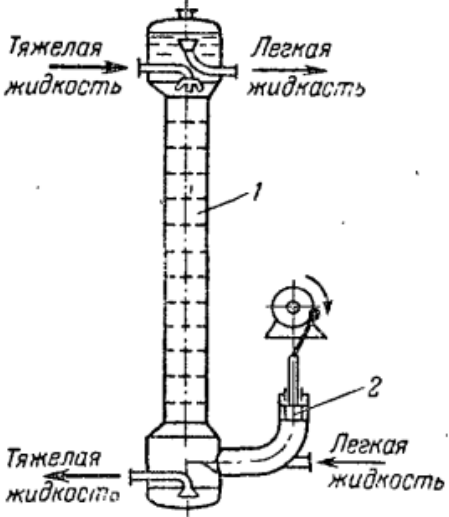
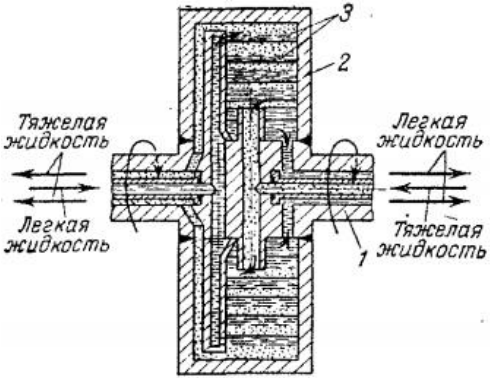
В зависимости от вида контакта между жидкими фазами экстракторы, как и другие массообменные процессы бывают: ступенчатые (скачкообразные) и дифференциально-контактные (плавные). Также обычно одна из жидких фаз диспергируется в другой для увеличения контакта фаз. Ступенчатые экстракторы:



Этот тип экстракторов относится к числу старейших. Состоят из последовательно расположенных смесителей, где происходит выравнивание концентраций, и отстойника, где происходит разделение смеси на рафинат и экстракт. Движение прямогоком, большие площади, но низкая высота, медленная работа.

Дифференциально-контактные экстракторы

	<p>Распылительной колонный экстрактор представляет собой полую колонну, внутри которой имеются лишь устройства для ввода легкой и тяжелой фаз. Фазы движутся противотоком, наличие гидравлического затвора необходимо для полноценного заполнения колонны. Отличаются высокой производительностью, но низкой интенсивностью массопередачи. Используются ограниченно.</p>
	<p>Полочные и насадочные экстракторы представляют собой колонны с тарелками или насадками различных конструкций. Капли, коалесцируя, обтекают перегородки в виде тонкой пленки, омываемой сплошной фазой. Интенсивность массопередачи в полочных колоннах выше чем в распылительных за счет их секционирования посредством перегородок.</p>
	<p>В этом роторно-дисковом экстракторе внутри корпуса закреплены кольцевые перегородки. По оси колонны проходит вертикально ротор с плоскими дисками. Чередующиеся кольца и диски мешают продольному перемешиванию. Легкая фаза постоянно редеспергируется за счет вращения дисков, смешиваясь с тяжелой. После перемешивания фазы разделяются за счет разности плотностей при обтекании ими кольцевых перегородок.</p>

	<p>Введение дополнительной энергии в жидкости путем сообщения им возвратно-поступательных колебаний. Пульсации способствуют лучшему дроблению диспергируемой фазы на капли и соответственно сильному увеличению поверхности контакта фаз, что, несмотря на то, что коэффициент массопередачи несколько уменьшается из-за продольных перемещений, все равно приводит к интенсификации процесса.</p>
	<p>Использование центробежных сил является эффективным средством улучшения не только смешивания, но и разделения фаз при экстракции.</p>

102 вопрос. Конструкции аппаратов для растворения и экстрагирования (система твердое тело - жидкость)

Аппараты с неподвижным слоем твердого материала. В этих аппаратах скорость движения жидкости при ее фильтровании сквозь слой практически совпадает по величине и направлению со скоростью обтекания. Простейшим аппаратом такого типа является открытый резервуар с ложным дном (решеткой), подобный открытому нутч-фильтру (см. стр. 199). На решетку загружается слой твердого материала, через который сверху вниз протекает растворитель. При таком направлении движения жидкость равномерно заполняет сечение аппарата и не происходит смешения более концентрированного раствора с раствором низкой концентрации, приводящего к снижению движущей силы. Выгрузку выщелаченного твердого остатка производят периодически, чаще всего гидравлическим способом — вымывая твердый материал из аппарата водой.

При движении жидкости сквозь слой относительно небольшой высоты не удастся получить раствор достаточно высокой концентрации. Использование циркуляции жидкости для укрепления раствора нецелесообразно ввиду указанного выше вредного эффекта смешения растворов разной концентрации. Поэтому для повышения степени извлечения и увеличения производительности применяют герметически закрытые аппараты с ложным дном, подобные закрытым нутч-фильтрам, получившие название **д и ф - ф у з о р о в**.

Диффузор (рис. XIII-30, а) состоит из цилиндрического корпуса 1, ложного днища, или решетки, 2 и откидного днища 3. Свежий растворитель поступает через штуцер 4, а конечный раствор удаляется через штуцер 5. Диффузоры соединяются последовательно в батареи и работают под избыточным давлением. При этом растворитель прокачивается одним насосом 6 снизу вверх последовательно через все аппараты батареи, в которых в данный момент происходит выщелачивание. Общее число диффузоров в батарее зависит от скорости процесса и может достигать 10—15 и более. В любой рассматриваемый момент один из аппаратов, в котором уже достигнута заданная степень извлечения, отключается на разгрузку выщелоченного материала и загрузку свежим материалом. В это время в остальных аппаратах (исключая один из аппаратов, находящийся обычно в резерве) осуществляется выщелачивание. Периодическая разгрузка выщелоченного

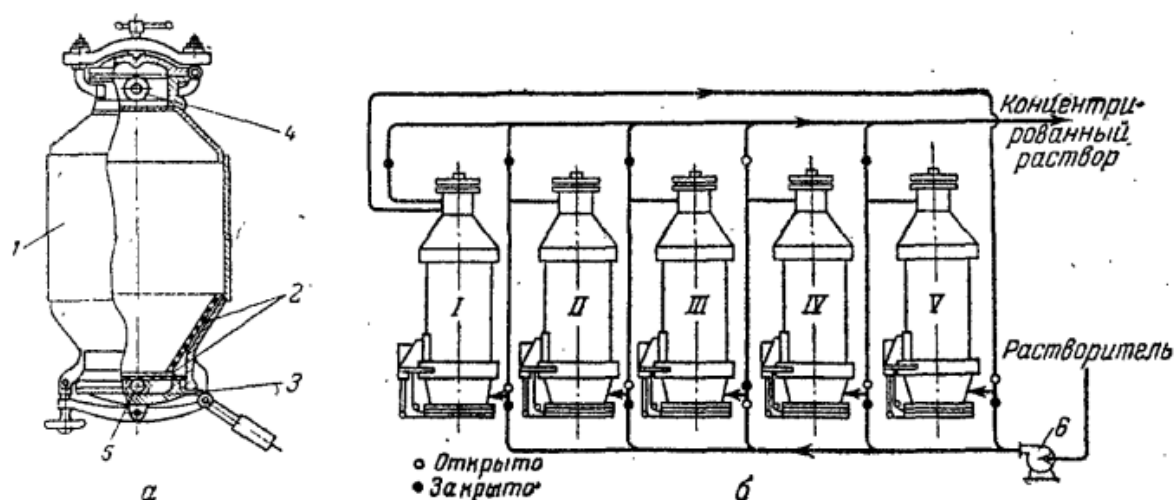


Рис. XIII-30. Схема экстракции (выщелачивания) в батарее диффузоров:

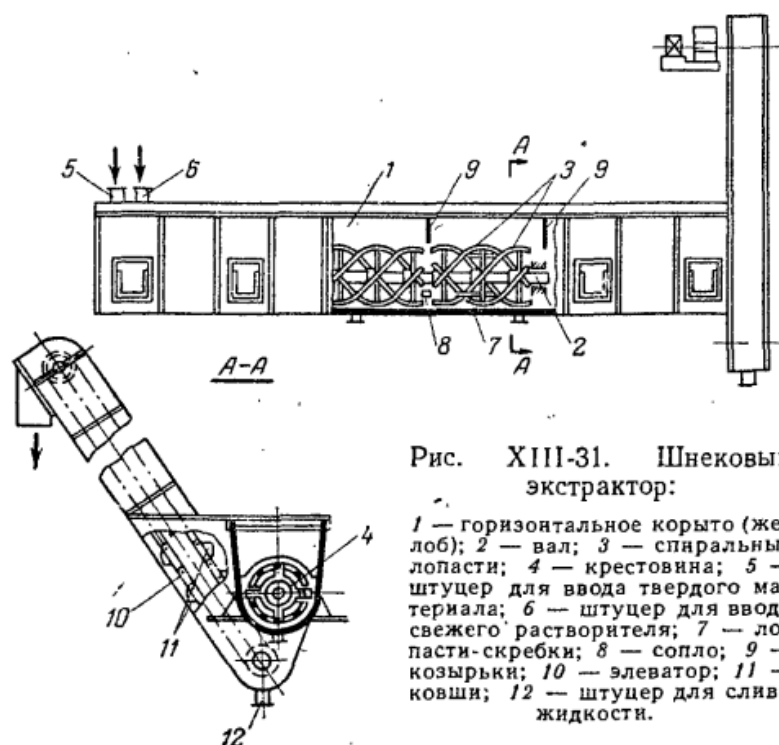


Рис. XIII-31. Шнековый экстрактор:

1 — горизонтальное корыто (желоб); 2 — вал; 3 — спиральные лопасти; 4 — крестовина; 5 — штуцер для ввода твердого материала; 6 — штуцер для ввода свежего растворителя; 7 — лопасти-скребки; 8 — сопло; 9 — козырьки; 10 — элеватор; 11 — ковши; 12 — штуцер для слива жидкости.

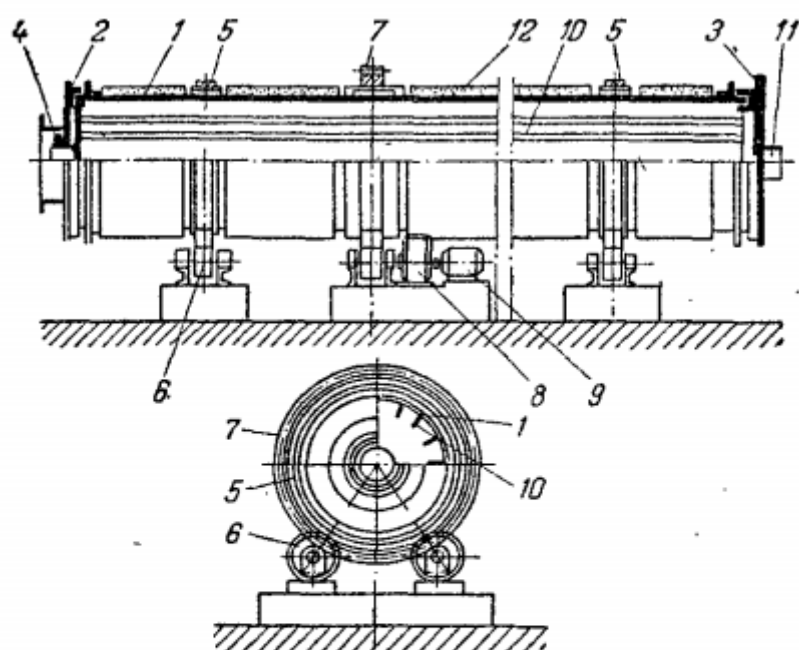


Рис. XIII-32. Барабанный экстрактор:

1 — горизонтальный цилиндрический барабан; 2 — передняя крышка; 3 — задняя крышка; 4 — штуцер для ввода твердого материала; 5 — бандаж; 6 — опорный ролик; 7 — зубчатая передача; 8 — червячный редуктор; 9 — электродвигатель; 10 — лопасти; 11 — штуцер для отвода концентрированного раствора и твердого остатка; 12 — тепловая изоляция.

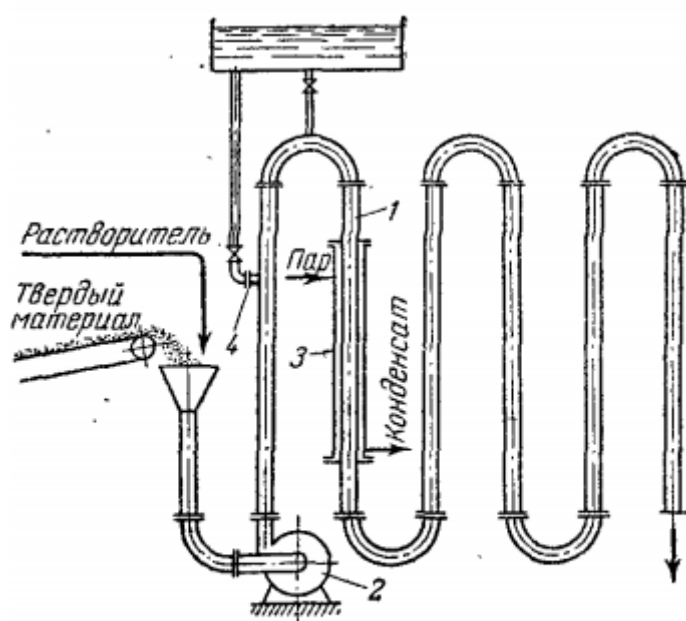


Рис. XIII-33. Трубчатый экстрактор:

1 — труба; 2 — насос; 3 — паровая рубашка; 4 — штуцер для ввода промывной воды.